



TUGAS AKHIR - MO 141326

**DESAIN *SUPPORTING STRUCTURE* JENIS *TENSION*  
*LEG PLATFORM* UNTUK TURBIN PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA ARUS LAUT DI PERAIRAN SELAT  
ALAS LOMBOK TIMUR**

Riyan Afif Al Ihsan  
NRP 4311 100 080

Dosen Pembimbing

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T. ,M.T.

Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015



FINAL PROJECT - MO 141326

# DESIGNING SUPPORTING STRUCTURE OF OCEAN CURRENT TURBINE WITH TENSION LEG PLATFORM TYPE IN ALAS STRAIT LOMBOK TIMUR

Riyan Afif Al Ihsan  
NRP 4311 100 080

Supervisors

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T. ,M.T.

Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING  
Faculty of Marine Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015

**DESAIN *SUPPORTING STRUCTURE* JENIS *TENSION LEG PLATFORM*  
UNTUK TURBIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS LAUT DI  
PERAIRAN SELAT ALAS LOMBOK TIMUR**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :


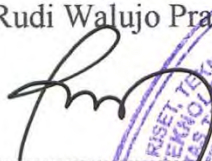
**RIYAN AFIF AL IHSAN**

NRP. 4311 100 080

Disetujui oleh :

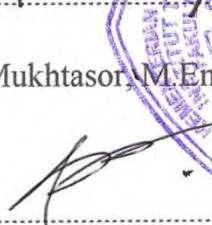
1. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastanto, S.T., M.T

(Pembimbing 1)



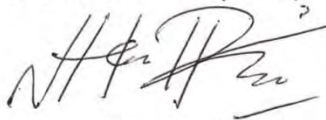
2. Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D

(Pembimbing 2)



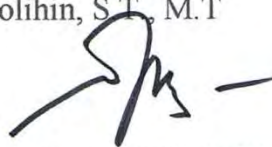
3. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D

(Penguji 1)



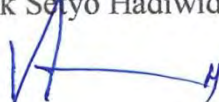
4. Sholihin, S.T., M.T

(Penguji 2)



5. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D

(Penguji 3)



SURABAYA, JANUARI 2016

# **DESAIN SUPPORTING STRUCTURE JENIS *TENSION LEG PLATFORM* UNTUK TURBIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS LAUT DI PERAIRAN SELAT ALAS LOMBOK TIMUR**

Nama Mahasiswa : Riyan Afif Al Ihsan  
NRP : 4311 100 080  
Jurusan : Teknik Kelautan  
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.  
Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.

## **ABSTRAK**

Dengan semakin menipisnya cadangan minyak maka diperlukan alternatif sumber energi lainnya seperti arus laut. Kabupaten Lombok Timur yang terletak disekitar Selat Alas selama ini kebutuhan energi listriknya 99 % masih disuplai dengan menggunakan pembangkit listrik tenaga diesel. Padahal disekitar wilayah tersebut memiliki potensi energi arus laut yang cukup besar dan teknologi untuk menkonversi energi arus laut di wilayah perairan Indonesia sendiri juga sudah ada. Oleh karena itu diperlukan pembuatan konsep desain *supporting structure* PLTAL yang mengadopsi jenis struktur apung dengan stabilitas yang cukup baik yaitu *Tension Leg Platform*. Selain itu juga diperlukan analisa respon gerak struktur akibat gelombang regular dan irregular agar didapatkan bentuk struktur yang dapat bekerja secara baik. Pembuatan konsep desain struktur dilakukan dengan mempertimbangkan data lingkungan dan parameter desain yang telah ditentukan. Perhitungan RAO dan analisa respon spektra struktur untuk kondisi *free floating* dan tertambat menggunakan bantuan dari software ANSYS AQWA. Hasil akhir penelitian adalah struktur memiliki dimensi utama 3 *Column*, *Deck* berbentuk segitiga sama sisi, dan struktur *pontoon* berbentuk tubular serta *boxes*. Dari perbandingan grafik RAO dan grafik spektra respon terlihat bahwa untuk semua mode gerakan kecuali surge dan sway memiliki jarak antar puncak grafik yang cukup jauh.

**Kata kunci** : *PLTAL, TLP, RAO, Respon Struktur, Selat Alas*

# **DESIGNING SUPPORTING STRUCTURE OF OCEAN CURRENT TURBINE WITH TENSION LEG PLATFORM TYPE IN ALAS STRAIT LOMBOK TIMUR**

Name : Riyan Afif Al Ihsan  
NRP : 4311 100 080  
Majors : Ocean Engineering  
Lecturer : Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.  
Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.

## **ABSTRACT**

Because the depletion of oil reserves so it needs the other alternative energy sources such as ocean currents. East Lombok which approximately 99% of its electricity needs is supplied by diesel is located around the Alas Strait. But actually around the region have big potential of ocean current energy and technology to convert the ocean current energy in Indonesian is already exists. Therefore, it is necessary to conceptualizing the design of supporting structure PLTAL which adopt Tension Leg Platform structure that has good stability. It also required the analysis of structure motion response due to regular and irregular waves in order to get structure that can work well in real environment. Environmental data and design parameter of TLP are used in order to make good design concept of structure. Calculation of RAO and structure spectra response for free floating and moored condition are using ANSYS AQWA. The conclusions are supporting structure has major dimension 3 column, equilateral triangle deck, and pontoon structures with tubular and box shape. Comparing RAO graph and spectral response graph give result that for all motion modes except surge and sway has far enough distance between peak of graphs.

**Keywords** : *Ocean Current Turbine, TLP, RAO, Structure Response, Alas Strait*

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta kekuatan hingga akhirnya saya mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**Desain *Supporting Structure* jenis *Tension Leg Platform* untuk Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut di Perairan Selat Alas Lombok Timur**” tepat waktu.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tugas Akhir ini membahas tentang salah satu struktur pendukung untuk pembangkit listrik tenaga arus laut dimana dilakukan juga analisis respon gerak dari bangunan yang dirancang.

Penulis sangat mengharapkan agar karya tulis ini dapat memberikan ilmu pengetahuan dalam lingkup rekayasa kelautan serta dapat dikembangkan kedalam penelitian yang lebih intensif dan ekstensif.

Disadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, Karena itu penulis sangat mengharapkan adanya saran atau masukan untuk perbaikan/penyusunan dalam pengembangan karya tulis ini di masa mendatang. Akhir kata penulis hanya dapat berharap penelitian ini terus berkembang agar bermanfaat bagi kemajuan dunia kelautan khususnya bidang Energi Terbarukan dan Hidrodinamika.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini penulis tidak terlepas dari bantuan serta dorongan moral maupun material dari banyak pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Penulis sangat berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) Allah SWT atas limpahan rahmat dan nikmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
- 2) Bapak Basiri dan Ibu saya Lasiyatun atas bantuan material dan perhatiannya yang selalu bisa menghidupkan semangat saya untuk mengerjakan tugas akhir
- 3) Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I atas segala bimbingan, motivasi dan fasilitas yang memudahkan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
- 4) Bapak Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing II dan juga dosen wali yang telah memberikan waktunya dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Berkat jasa dan bimbingannya, penulis menjadi lebih mengerti tentang studi dalam tugas akhir ini lebih mendalam.
- 5) Ibu Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D selaku koordinator tugas akhir yang selalu mengerti dan memberikan toleransi ketika mendaftar sidang sehingga memudahkan dalam prosesnya.
- 6) Jalur Alternatif khususnya Diko, Alwan, Balu, Mbot, Fahrul, Bangun dan Mumu yang setia mendampingi dan membantu dalam proses mengerjakan tugas akhir ini.
- 7) Susan Grup Mb Ike, Mb Mita, Kenshin, Mas Ghea, Ucup, Mas Fitrah, Mb Ingrid, Arya, Abidin, Anabel, yang selalu memberikan canda tawanya ketika suntuk mengerjakan TA.
- 8) Geng Gila khususnya Haris, Pakdhe Riza, Mas Senky, Mega, Eva, Mas Rizky, Luh, Isma, Rinda, Nana dan Odhi yang agak sesat karena selalu ngajak main ditengah pengerjaan TA tapi Alhamdulillah tidak menjadi penghalang untuk menyelesaikan TA.

- 9) Anak-anak kos Sang Juara yang juga selalu mengingatkan dan mengajak untuk salat berjamaah walaupun sedang sibuk ngerjain TA.
- 10) Temen-temen Trident yang saling support untuk bisa segera lulus.

Surabaya, November 2015

Riyan Afif Al Ihsan



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR SIMBOL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah .....	4
1.6 Sistematika Laporan .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1 Struktur Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut .....	7
2.1.1 Turbin Darrieus BPPT LHI .....	10
2.1.2 Supporting Structure PLTAL .....	11
2.2 <i>Tension Leg Platform</i> (TLP).....	12
2.3 Dasar Analisa Dinamis.....	13
2.4 Teori Gerak Bangunan Apung.....	13
2.5 <i>Heading</i> (Arah) Bangunan Apung terhadap Arah Gelombang .....	14
2.6 Pembebanan.....	15
2.7 Prediksi Gelombang Ekstrim.....	15
2.8 Jari-jari Girasi .....	16
2.9 Titik Berat ( <i>Center of Gravity</i> ).....	17

2.10 Titik Apung ( <i>Center of Buoyancy</i> ) .....	18
2.11 Periode Natural .....	18
2.12 Karakteristik Gelombang Acak .....	19
2.13 Respon Struktur pada Gelombang Reguler .....	20
2.14 Respon Struktur pada Gelombang Irreguler .....	20
2.15 Spektrum Gelombang .....	21
2.16 Sistem <i>Mooring Line</i> .....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Diagram Alir ( <i>flow chart</i> ) .....	23
3.2 Penjelasan Diagram Alir ( <i>flow chart</i> ) .....	24
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....	27
4.1 Tinjauan Lokasi Penempatan PLTAL .....	27
4.1.1 Kondisi Geografis.....	27
4.1.2 Pemilihan Letak Penempatan PLTAL .....	27
4.1.3 Kondisi Lingkungan .....	30
4.2 Tipe <i>Supporting Structure</i> PLTAL.....	32
4.3 Desain <i>Supporting Structure</i> PLTAL .....	33
4.3.1 Data <i>Equipment</i> dan Turbin.....	33
4.3.2 Kriteria dan Pertimbangan Desain <i>Supporting Structure</i> PLTAL jenis TLP.....	34
4.3.3 Perencanaan Dimensi TLP .....	35
4.3.4 <i>Center of Gravity</i> dan <i>Center of Buoyancy</i> Struktur .....	39
4.3.5 Jari-jari Girasi Struktur .....	40
4.4 Pemodelan Struktur pada <i>Software</i> ANSYS .....	41
4.5 Arah Pembebanan Gelombang pada Struktur .....	44
4.6 Analisa Respon Gerak Struktur pada Gelombang Reguler Kondisi <i>Free Floating</i> .....	44
4.6.1 <i>Response Amplitude Operator</i> (RAO) pada Kondisi <i>Free Floating</i> .....	45
4.6.2 Validasi nilai RAO pada Kondisi <i>Free Floating</i> .....	48
4.7 Analisa Respon Gerak Struktur pada Gelombang Reguler Kondisi Tertambat.....	48

4.7.1 <i>Response Amplitude Operator</i> (RAO) pada Kondisi Tertambat..	49
4.8 Analisa Respon Spektra Struktur pada Gelombang Irreguler Kondisi <i>Free Floating</i> .....	54
4.9 Analisa Respon Spektra Struktur pada Gelombang Irreguler Kondisi Tertambat.....	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	61
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran .....	62
DAFTAR PUSTAKA .....	65

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Peta Potensi Energi Arus Laut di Perairan Indonesia.....	1
<b>Gambar 1.2</b> Lokasi Selat Alas di Peta .....	2
<b>Gambar 1.3</b> Struktur Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut Rancangan BPPT 3	
<b>Gambar 2.1</b> Contoh Bentuk Turbin Arus Laut Horizontal Tertutup .....	7
<b>Gambar 2.2</b> Contoh Bentuk Turbin Arus Laut Horizontal Terbuka.....	8
<b>Gambar 2.3</b> Contoh Bentuk Turbin Arus Laut Sumbu Vertikal.....	8
<b>Gambar 2.4</b> Tampak 3D Struktur PLTAL Desain dari BPPT .....	10
<b>Gambar 2.5</b> Berbagai jenis <i>Supporting Structures</i> untuk PLTAL.....	10
<b>Gambar 2.6</b> Komponen Utama Struktur TLP.....	11
<b>Gambar 2.7</b> <i>Six Degree of Freedom</i> pada Bangunan Apung .....	13
<b>Gambar 2.8</b> Definisi arah datang gelombang terhadap <i>heading</i> bangunan apung .....	13
<b>Gambar 4.1</b> Peta Batimetri Selat Alas .....	26
<b>Gambar 4.2</b> Peta Persebaran Habitat Terumbu Karang di Pulau Lombok .....	27
<b>Gambar 4.3</b> Jalur Pelayaran Kapal Domestik dan Kapal Internasional .....	28
<b>Gambar 4.4</b> Peta Rencana Penggunaan Wilayah di Pulau Lombok.....	29
<b>Gambar 4.5</b> Bentuk <i>Vertical Axis Turbine</i> BPPT LHI .....	32
<b>Gambar 4.6</b> Bentuk Struktur <i>Deck</i> .....	34
<b>Gambar 4.7</b> Bentuk Struktur <i>Pontoon</i> .....	35
<b>Gambar 4.8</b> Bentuk Struktur <i>Column</i> .....	36
<b>Gambar 4.9</b> Bentuk 2D <i>Supporting Structure</i> PLTAL jenis TLP 3 <i>Column</i> ....	38
<b>Gambar 4.10</b> Bentuk 3D <i>Supporting Structure</i> PLTAL Jenis TLP 3 <i>Column</i> ..	38
<b>Gambar 4.11</b> Hasil <i>Import</i> Model Struktur pada <i>Software</i> ANSYS .....	40
<b>Gambar 4.12</b> Hasil <i>Meshing</i> Model Struktur pada <i>Software</i> ANSYS.....	41
<b>Gambar 4.13</b> Pembebanan Gelombang Reguler pada <i>Software</i> ANSYS AQWA .....	41
<b>Gambar 4.14</b> Pemodelan Struktur dengan Tali Tambat .....	42
<b>Gambar 4.15</b> Arah Pembebanan Gelombang .....	43
<b>Gambar 4.16</b> Grafik RAO Gerakan <i>Heave</i> Kondisi <i>Free Floating</i> .....	44
<b>Gambar 4.17</b> Grafik RAO Gerakan <i>Roll</i> Kondisi <i>Free Floating</i> .....	44
<b>Gambar 4.18</b> Grafik RAO Gerakan <i>Pitch</i> Kondisi <i>Free Floating</i> .....	45

<b>Gambar 4.19</b> Grafik RAO Gerakan <i>Surge</i> Kondisi Tertambat .....	48
<b>Gambar 4.20</b> Grafik RAO Gerakan <i>Sway</i> Kondisi Tertambat .....	48
<b>Gambar 4.21</b> Grafik RAO Gerakan <i>Heave</i> Kondisi Tertambat.....	49
<b>Gambar 4.22</b> Grafik RAO Gerakan <i>Roll</i> Kondisi Tertambat .....	49
<b>Gambar 4.23</b> Grafik RAO Gerakan <i>Pitch</i> Kondisi Tertambat .....	50
<b>Gambar 4.24</b> Grafik RAO Gerakan <i>Yaw</i> Kondisi Tertambat.....	50
<b>Gambar 4.25</b> Respon Spektra Gerakan <i>Heave</i> Kondisi <i>Free Floating</i> .....	53
<b>Gambar 4.26</b> Respon Spektra Gerakan <i>Roll</i> Kondisi <i>Free Floating</i> .....	53
<b>Gambar 4.27</b> Respon Spektra Gerakan <i>Pitch</i> Kondisi <i>Free Floating</i> .....	54
<b>Gambar 4.28</b> Respon Spektra Gerakan <i>Surge</i> Kondisi Tertambat .....	55
<b>Gambar 4.29</b> Respon Spektra Gerakan <i>Sway</i> Kondisi Tertamba .....	56
<b>Gambar 4.30</b> Respon Spektra Gerakan <i>Heave</i> Kondisi Tertambat .....	56
<b>Gambar 4.31</b> Respon Spektra Gerakan <i>Roll</i> Kondisi Tertambat.....	57
<b>Gambar 4.32</b> Respon Spektra Gerakan <i>Pitch</i> Kondisi Tertambat.....	57
<b>Gambar 4.33</b> Respon Spektra Gerakan <i>Yaw</i> Kondisi Tertambat.....	58

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Rumus Inertia Benda Pejal .....	15
<b>Tabel 2.2</b> Amplitudo dan Tinggi Gelombang pada Spektrum .....	20
<b>Tabel 4.1</b> Data Kecepatan Arus Laut di Tanjung Gali Segara .....	30
<b>Tabel 4.2</b> Data Gelombang 100 <i>Year Return Period</i> .....	30
<b>Tabel 4.3</b> Perbandingan Antara Jenis TLP dan Jenis <i>Catamaran</i> .....	31
<b>Tabel 4.4</b> Data Turbin <i>Vertical Axis</i> BPPT .....	32
<b>Tabel 4.5</b> Kriteria Periode Natural Struktur TLP Tertambat.....	33
<b>Tabel 4.6</b> Dimensi Struktur <i>Pontoon</i> .....	35
<b>Tabel 4.7</b> Variasi Dimensi Struktur <i>Column</i> .....	36
<b>Tabel 4.8</b> Dimensi <i>Supporting Structure</i> PLTAL dengan jenis <i>Tension Leg Platform</i> .....	37
<b>Tabel 4.9</b> <i>Center of Gravity</i> TLP 3 <i>Column</i> .....	39
<b>Tabel 4.10</b> <i>Center of Buoyancy</i> TLP 3 <i>Column</i> .....	39
<b>Tabel 4.11</b> Jari-jari Girasi TLP 3 <i>Column</i> .....	40
<b>Tabel 4.12</b> Nilai Maksimum RAO Struktur Kondisi <i>Free Floating</i> .....	46
<b>Tabel 4.13</b> Validasi Nilai RAO .....	47

## DAFTAR SIMBOL

$P(x)$	: Peluang kumulatif
$\xi$	: Parameter bentuk
$\lambda$	: Parameter skala
$P_{LT}(H)$	: Peluang kejadian gelombang ekstrim
$T_{storm}$	: Durasi badai (hours)
$T_{LT}$	: Kurun waktu gelombang ekstrim (years)
$R$	: Jari-jari girasi (m)
$I$	: Momen inersia (m <sup>4</sup> )
$A$	: Luas penampang (m <sup>2</sup> )
$W$	: Gaya berat (kN)
$T_t$	: Gaya pretension (kN)
$n_t$	: Jumlah tendon
$\omega_{nz}$	: Frekuensi natural gerakan <i>heave</i> (rad/s)
$\omega_{n\phi}$	: Frekuensi natural gerakan <i>roll</i> (rad/s)
$\omega_{n\theta}$	: Frekuensi natural gerakan <i>pitch</i> (rad/s)
$k_{33}$	: Kekakuan gerakan <i>heave</i> (kN)
$k_{44}$	: Kekakuan gerakan <i>roll</i> (kN)
$k_{55}$	: Kekakuan gerakan <i>pitch</i> (kN)
$m$	: Massa atau displacemen bangunan apung (ton)
$I_{44}$	: Momen inersia massa untuk gerakan <i>roll</i> (ton.m <sup>2</sup> )
$I_{55}$	: Momen inersia massa untuk gerakan <i>pitch</i> (ton.m <sup>2</sup> )
$a_{33}$	: Massa tambah untuk gerakan <i>heave</i> (ton)
$a_{44}$	: Momen inersia massa tambah untuk gerakan <i>roll</i> (ton.m <sup>2</sup> )
$a_{55}$	: Momen inersia massa tambah untuk gerakan <i>pitch</i> (ton.m <sup>2</sup> )
$\rho$	: Massa jenis air laut (1,025 to/m <sup>3</sup> )
$g$	: Percepatan gravitasi (9,8 m/s <sup>2</sup> )
$A_w$	: Luas garis air (m <sup>2</sup> )
$\nabla$	: Volume displasemen bangunan apung (m <sup>3</sup> )
$GM_T$	: Tinggi metasentra melintang (m)
$GM_L$	: Tinggi metasentra memanjang (m)
$T_n$	: Periode natural (s)

$\pi$	: Phi (3,14)
$\omega_n$	: Frekuensi natural (rad/s)
$X_p(\omega)$	: Amplitudo struktur (m)
$\eta(\omega)$	: Amplitudo gelombang
$S_R$	: Spektrum respons ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )
$S(\omega)$	: Spektrum gelombang ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )
$RAO(\omega)$	: <i>Transfer function</i>
$\omega$	: Frekuensi gelombang (rad/s)
$m_0$	: Luasan dibawah kurva spektrum (zero moment)
$S_J(\omega)$	: Spektrum JONSWAP
$S_{PM}(\omega)$	: Spektrum Pierson-Moskowitz
$A_\gamma$	: <i>Normalizing factor</i>
$\gamma$	: Parameter puncak
$\sigma$	: Parameter lebar spektra
$\omega_p$	: Frekuensi puncak spectra



## DAFTAR LAMPIRAN

- A. Perhitungan Gelombang Kurun Waktu Panjang
- B. Perhitungan Dimensi Struktur
- C. COG, COB dan Jari-jari Girasi
- D. Tabel RAO *Free Floating*
- E. Tabel RAO Tertambat
- F. Tabel Spektra Respon *Free Floating*
- G. Tabel Spektra Respon Tertambat

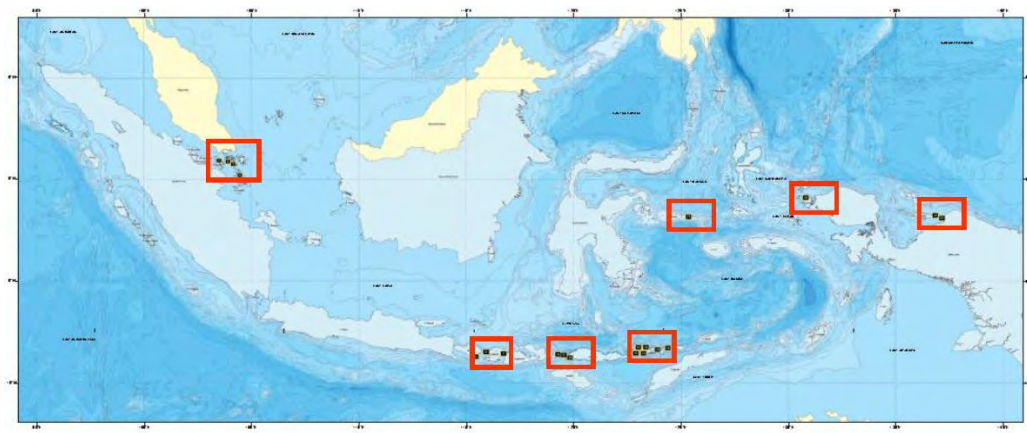
# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kebutuhan dunia akan energi selalu meningkat setiap saat hal ini tentu saja menyebabkan cadangan energi tak terbarukan semakin menipis. Oleh karena itu dibutuhkan solusi jangka panjang untuk memecahkan masalah ini, salah satunya adalah dengan pemanfaatan energi terbarukan. Indonesia sebagai negara maritim memiliki potensi energi terbarukan khususnya dari laut yang cukup besar antara lain energi gelombang, energi panas laut dan energi arus laut.

Menurut Koordinator Tim Kajian Staf Ahli Bappenas Bidang Tata Ruang dan Kemaritiman, energi arus laut di Indonesia memiliki potensi kapasitas energi sekurangnya 5,6-9 TerraWatt. Sebagai perbandingan energi ini setara dengan 30.000-50.000 kali kapasitas energi dari PLTA Jatiluhur yang memiliki kapasitas 187 MW (kkp.go.id, 2010). Beberapa daerah di Indonesia memiliki potensi energi arus laut yang cukup besar dengan kecepatan arus laut kurang dari 1,5 m/s kecuali beberapa daerah yaitu di Bali, Lombok dan Nusa Tenggara Timur yang memiliki kecepatan arus sebesar 2,5-3,4 m/s (Ferial, 2011). Hal ini karena beberapa daerah tersebut ditunjang oleh kondisi geografis yang memiliki banyak pulau dan selat seperti yang terlihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 1.1** Peta Potensi Energi Arus Laut di Perairan Indonesia  
(Sumber: Mukhtasor, 2012)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Balai Pengkajian dan Penelitian Hidrodinamika BPPT di 10 selat yang ada di wilayah Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur mengungkapkan bahwa di daerah tersebut memiliki potensi

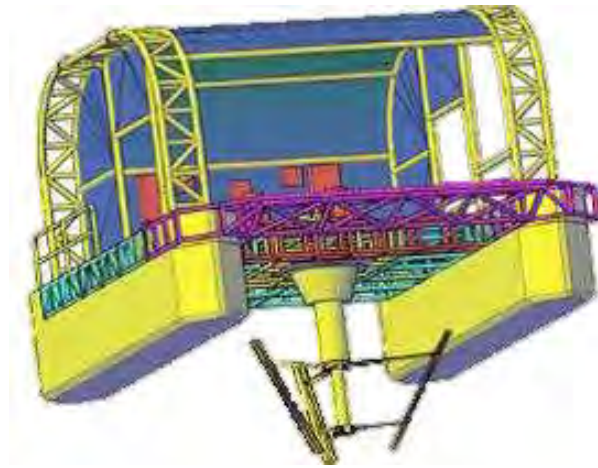
energi arus laut hingga 3000 MW. Selat Alas yang terletak diantara Pulau Lombok dan Pulau Sumbawa termasuk dalam daerah dengan kecepatan arus cukup besar sehingga memiliki potensi energi arus laut yang cukup besar pula.



**Gambar 1.2** Lokasi Selat Alas di Peta  
(Sumber: [www.maps.google.com](http://www.maps.google.com), 2015)

Kabupaten Lombok Timur yang terletak disekitar Selat Alas selama ini kebutuhan energi listriknya 99 % masih disuplai dengan menggunakan pembangkit listrik tenaga diesel (Azis, 2010). Padahal disekitar wilayah tersebut memiliki potensi energi arus laut yang cukup besar dan teknologi untuk menkonversi energi arus laut diwilayah perairan Indonesia sendiri juga sudah ada.

Pembangunan *pilot project* dari pembangkit listrik tenaga arus laut di Indonesia sudah dimulai oleh BPPT dengan penelitian awal pemetaan potensi arus laut sejak tahun 2006, kemudian pada tahun 2008 dilanjutkan dengan perancangan prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL) yang cocok untuk perairan Indonesia yaitu menggunakan turbin arus laut poros vertikal tipe Darrieus dengan tiga bilah turbin. Turbin ini dipilih karena konstruksinya yang sederhana, mudah pembuatannya, mudah pemeliharaannya, dan harganya yang murah. (bppt.go.id, 2013). Namun *supporting structure* PLTAL masih dibuat dengan seadanya yaitu menggunakan pontoon sederhana yang ditambah dengan seperlunya menggunakan tali tambang sehingga dalam uji cobanya mudah mengalami kerusakan dan stabilitasnya masih kurang.



**Gambar 1.3** Struktur Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut Rancangan BPPT  
(Sumber: BPPT Laboratorium Hidrodinamika Indonesia, 2014)

*Tension Leg Platform* (TLP) adalah salah satu jenis struktur lepas pantai yang dapat dikelompokkan ke dalam golongan *compliant structures* yang mana jenis ini sangat cocok dipakai di perairan dalam. Karakteristik utama TLP yang berbeda dengan jenis struktur terpancang (*fixed jacket type*) adalah sifat respon TLP yang sangat lentur terhadap gaya-gaya luarnya. Dengan kata lain, responnya cenderung bersifat bergerak bersama gelombang dari pada harus menahan gelombang secara kaku. Dengan demikian, keadaannya akan menjadi lebih baik jika harus berada di perairan dalam yang mana kondisi lingkungan yang lebih berat. Selain itu keunggulan dari TLP adalah kemampuannya dalam meredam mode gerak *heave*, *pitch* dan *roll* karena adanya tendon.

Oleh karena itu pada Tugas Akhir ini penulis akan melakukan pembuatan konsep desain *supporting structure* PLTAL dengan jenis TLP yang sesuai dengan karakteristik perairan di Selat Alas dan melakukan analisis respon gerak *supporting structure* PLTAL pada gelombang regular da gelombang irregular dengan menggunakan *software* ANSYS AQWA sehingga nantinya didapatkan desain struktur PLTAL yang sesuai dengan karakteristik lingkungan di Selat Alas.

## 1.2 Perumusan Masalah

Untuk perumusan masalah yang akan diselesaikan pada tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana konsep desain *supporting structure* PLTAL dengan jenis TLP yang sesuai dengan kondisi lingkungan di perairan Selat Alas ?

2. Bagaimana respon gerak *supporting structure* PLTAL pada gelombang reguler ?
3. Bagaimana respon gerak *supporting structure* PLTAL pada gelombang irregular ?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Sedangkan untuk tujuan penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui konsep desain *supporting structure* PLTAL dengan jenis TLP yang sesuai dengan kondisi lingkungan di perairan Selat Alas.
2. Untuk mengetahui respon gerak *supporting structure* PLTAL pada gelombang reguler.
3. Untuk mengetahui respon gerak *supporting structure* PLTAL pada gelombang irregular.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Dari penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam usaha realisasi pembangunan pembangkit listrik tenaga arus laut di Indonesia khususnya di Selat Alas yang nantinya bisa memberikan kebermanfaatan untuk masyarakat sekitar khususnya wilayah Lombok Timur. Selain itu juga hasil penelitian ini juga dapat digunakan sebagai bahan referensi untuk pengembangan dan penelitian tentang *supporting structure* pembangkit listrik tenaga arus laut selanjutnya.

### **1.5 Batasan Masalah Penelitian**

Batasan-batasan yang diberlakukan dalam penelitian ini antara lain :

1. Analisa dilakukan di perairan Selat Alas, Nusa Tenggara Barat.
2. Analisa yang dilakukan hanya respon gerak struktur pada gelombang regular dan irregular
3. *Heading* pembebanan pada 12 arah yaitu  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $210^\circ$ ,  $240^\circ$ ,  $270^\circ$ ,  $300^\circ$ , dan  $330^\circ$  untuk kondisi *free floating*
4. Perhitungan RAO struktur saat kondisi *free floating* dan tertambat menggunakan *software* ANSYS AQWA
5. Beban lingkungan yang ditinjau adalah beban gelombang dan arus.
6. Asumsi turbin yang akan digunakan adalah tipe Darrieus BPPT LHI.
7. Beban putaran turbin diabaikan dan hanya mempertimbangkan beban berat

## **1.6 Sistematika Laporan**

Sistematika Penulisan Tugas Akhir meliputi :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan tugas akhir, manfaat yang diperoleh, ruang lingkup penelitian untuk membatasi analisa yang dilakukan dalam tugas akhir, metodologi penelitian, serta sistematika penulisan laporan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis berpedoman pada beberapa penelitian tentang struktur pembangkit listrik tenaga arus laut yang pernah dilakukan, teori pemodelan arus dan jenis-jenis pembangkit listrik tenaga arus laut.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Berisi tentang alur pengerjaan tugas akhir ini dengan tujuan untuk memecahkan masalah yang diangkat dalam bentuk diagram alir atau *flow chart* yang disusun secara sistematis yang dilengkapi pula dengan data penelitian serta penjelasan detail untuk setiap langkah pengerjaannya.

### **BAB IV. ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menjelaskan mengenai pemodelan struktur, analisis gerakan SPAR kondisi terapung bebas, analisis perilaku gerak SPAR kondisi tertambat dengan variasi strake dan pitch serta mengetahui respon struktur dan komparasi model yang diteliti

### **BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan dari analisis serta saran yang bermanfaat guna keberlanjutan penelitian terkait kedepannya.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Struktur Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut

Pembangkit listrik tenaga arus laut merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan gerak partikel air atau arus laut untuk memutar turbin yang nantinya dapat memutar generator sehingga dihasilkan listrik atau bias disebut juga bahwa pembangkit listrik tenaga arus laut memanfaatkan alat yang dapat mengkonversi energy kinetic arus laut menjadi tenaga listrik. Alat pembangkit listrik tenaga arus laut dapat disamakan dengan alat pembangkit listrik tenaga angin yang terlebih dahulu sudah terbukti teknologinya (Rourke *et al.*, 2009). Beberapa komponen penting dalam Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PCCI, 2009) :

1. Turbin, untuk mengkonversikan energi kinetik arus laut disini terdapat dua jenis rotor (daun turbin) yang biasa digunakan yaitu turbin poros vertical dan turbin poros horizontal.
2. Struktur Penyangga, sebagai struktur tempat meletakkan semua peralatan yang dibutuhkan dan juga berfungsi sebagai struktur penguat dalam menerima beban lingkungan. Terdapat dua jenis yaitu meliputi *fixed structure* dan *floating structure*.
3. Generator, untuk mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Generator yang digunakan pada PLTAL ini biasanya menggunakan generator Asinkron.
4. *Gearbox*, berfungsi untuk mengubah putaran rendah pada turbin energi arus laut menjadi putaran tinggi agar dapat digunakan untuk memutar generator.
5. Sistem Pengereman, digunakan untuk menjaga putaran pada poros turbin agar bekerja pada titik aman saat terdapat arus yang besar. Alat ini perlu dipasang karena generator memiliki titik kerja aman dalam pengoperasiannya.
6. *Rectifier-Inverter/Power Conditioning*, untuk mengatasi naik turunnya keluaran listrik dari generator karena naik turunnya putaran turbin maka listrik yang dihasilkan oleh generator harus disalurkan terlebih dahulu ke



sistem rectifier-inverter agar keluaran tegangan dan frekuensi listriknya sama dengan listrik yang dihasilkan PLN.

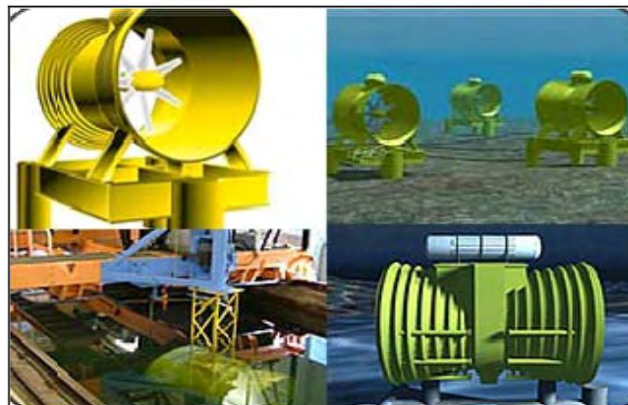
7. *Riser Cable*, merupakan kabel transmisi listrik yang menggantung antara platform dan dasar laut yang selanjutnya diteruskan ke daratan untuk didistribusikan

Berdasarkan bentuk bilahnya turbin arus laut dapat digolongkan menjadi 2 jenis yaitu :

1. Turbin Sumbu Horisontal

Turbin sumbu horisontal atau juga biasa disebut dengan *axial flow turbines* dapat berbentuk turbin terbuka atau turbin tertutup. Turbin sumbu horizontal biasanya memiliki dua atau tiga *blade* atau *airfoil* yang menggerakkan rotor dengan orientasi searah dengan aliran arus laut. (Mehmood *et al.*, 2012). Agar rotor dapat berputar dengan baik maka arah arus harus sejajar dengan poros turbin dan tegak lurus terhadap arah putaran rotor. Pada turbin ini, putaran rotor terjadi karena adanya gaya *lift* (gaya angkat) pada *blade* yang ditimbulkan oleh arus.

Setiap desain rotor mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kelebihan turbin jenis ini, yakni memiliki efisiensi yang tinggi. Kekurangannya yaitu turbin jenis ini memiliki desain yang lebih rumit karena rotor hanya dapat menangkap arah arus dari satu arah sehingga dibutuhkan pengarah arus selain itu penempatan dinamo atau generator berada diatas tower sehingga menambah beban tower turbin. Lokasi yang ideal untuk peletakan turbin ini biasanya dekat dengan pantai di kedalaman air sekitar 20 - 30 m.



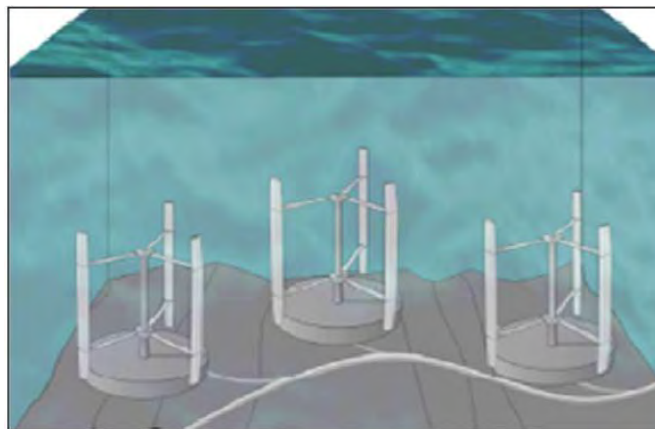
**Gambar 2.1** Contoh Bentuk Turbin Arus Laut Horisontal Tertutup  
(Sumber: Lunar Energy Ltd, 2011)



**Gambar 2.2** Contoh Bentuk Turbin Arus Laut Horizontal Terbuka  
(Sumber: *Marine Current Turbines*, 2011)

## 2. Turbin Sumbu Vertikal

Turbin sumbu vertikal diposisikan tegak lurus terhadap arah arus. Sumbu vertikal memungkinkan untuk memanfaatkan arus pasang surut dari segala arah. Turbin ini pada awalnya dikenal dan digunakan pada sistem kincir angin. Desain awal turbin jenis ini ditemukan di Persia sekitar tahun 500 - 900 M, dimana digunakan untuk memompa air dan penggilingan gandum. Namun paten atas Konsep Turbin sumbu vertikal dilakukan pertama kali oleh Georges Jean Marie Darrieus pada tahun 1925 di Prancis. Perlu diketahui bahwa sebenarnya jenis dari turbin sumbu vertikal ada lima tipe, yaitu : SC - Darrieus (*Straight Blade*), H - Darrieus (*Straight Blade*), Darrieus (*Curved Blade*), Gorlov (*Helical Blade*) dan Savonius (*Straight/Skewed*) (Khan, 2009).



**Gambar 2.3** Contoh Bentuk Turbin Arus Laut Sumbu Vertikal  
(Sumber: *Current Power*, 2011)

Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan masing-masing jenis turbin. Kendala penggunaan turbin arus adalah kondisi geografis dimana kecepatan dan arah arus yang beragam. Oleh karena itu, turbin arus yang dapat dipertimbangkan sesuai dengan lokasi adalah turbin yang dapat menerima arus dari segala arah selain itu juga mampu mengimbangi arus dalam kecepatan rendahnya. Pemilihan jenis turbin dengan mempertimbangkan parameter-parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin yakni berdasarkan:

1. Faktor daya (*power*) yang diinginkan berkaitan dengan head dan debit yang tersedia,
2. Kecepatan (putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator.

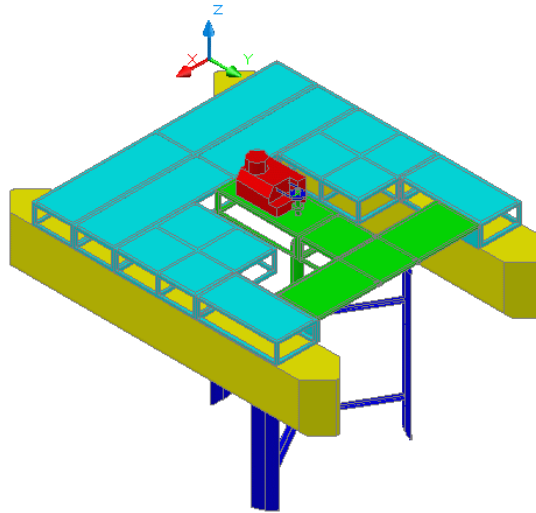
### **2.1.1 Turbin Darrieus BPPT LHI**

Turbin Darrieus BPPT LHI adalah turbin arus laut buatan BPPT-LHI yang telah diaplikasikan di selat Larantuka Flores sebagai proyek pemasangan pertama dan mampu menghasilkan listrik hingga 10 kW. Turbin ini dibuat dengan model turbin bersumbu vertikal yakni H-Darrieus.

Turbin Darrieus BPPT LHI menggunakan 3 buah baling-baling atau *blade* dengan type NACA 0018. Bentuk dari *blade* ini memiliki karakteristik pola simetris pada bagian atas dan bawah. Pemilihan type NACA 0018 didasarkan pada kondisi NACA yang lebih stabil untuk kapasitas kecil. NACA 0018 mempunyai koefisien lift bergerak naik seiring dengan kenaikan kecepatan aliran. Konfigurasi dari turbin ini adalah meliputi (Awalia, 2014):

1. Tipe *Blade*: *Vertical Axis Tidal Turbine* NACA 0018 (*three-blades*)
2. Panjang Rotor : 2,5 meter
3. Diameter Rotor: 3,6 meter
4. Luas Putaran Turbin:  $9 \text{ m}^2$
5. Densitas Air Laut:  $1025 \text{ kg/m}^3$
6. Efisiensi Turbin: 50%
7. Panjang *Chord*: 152,4 mm

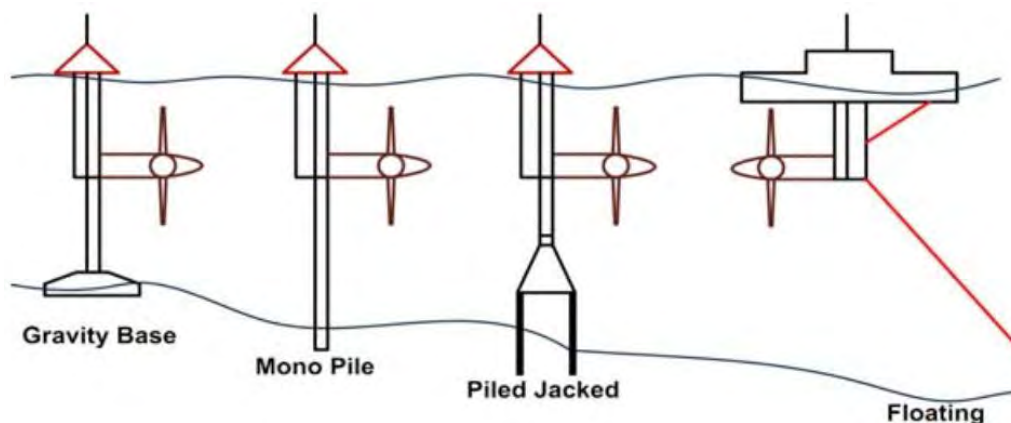
Laboratorium Hidrodinamika Indonesia telah melakukan uji coba turbin ini untuk mengetahui berapa kecepatan minimal turbin dapat berputar. Kecepatan arus minimal yang disyaratkan untuk memutar turbin Darrieus BPPT LHI ini adalah sebesar 0,3 m/s. Sehingga pada kecepatan arus rendah turbin ini masih dapat berputar dengan kecepatan putar 10 RPM dengan *rated power* 10 kW.



**Gambar 2.4** Tampak 3D Struktur PLTAL Desain dari BPPT  
(Sumber: [bppt.go.id](http://bppt.go.id))

### 2.1.2 Supporting Structure PLTAL

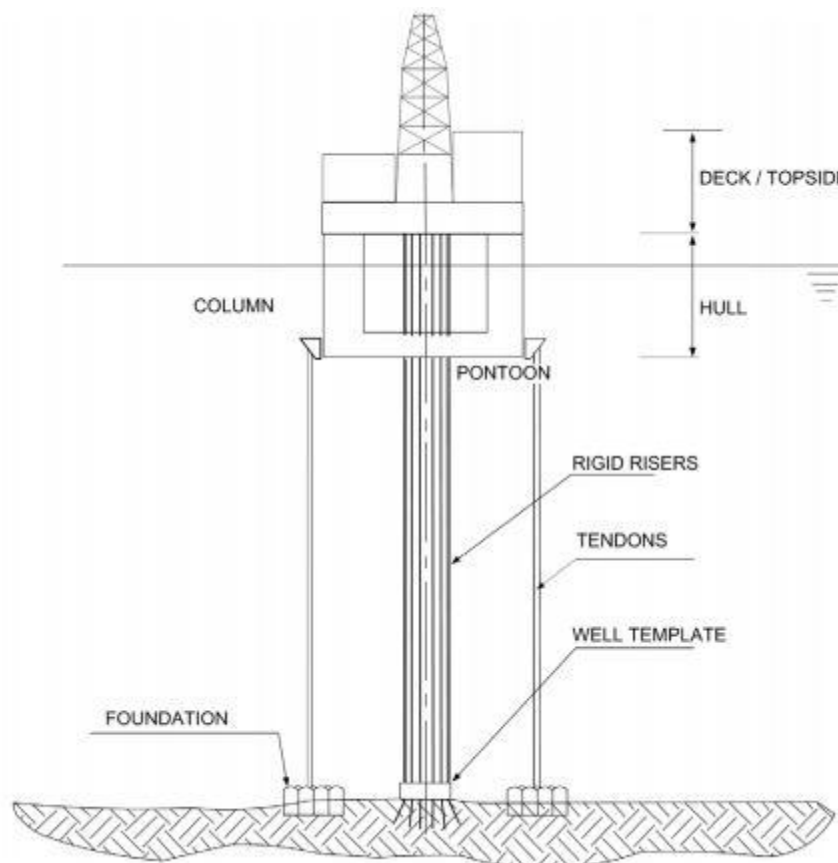
Dalam menentukan jenis *supporting structure* yang sesuai maka perlu dipertimbangkan ukuran turbin, kedalaman perairan, dan kondisi tanah dasar laut. *Gravity*, *piled* atau *floating structures* adalah contoh jenis struktur yang sering digunakan untuk pembangkit listrik tenaga arus laut, seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini (Mehmood, 2012).



**Gambar 2.5** Berbagai jenis *Supporting Structures* untuk PLTAL  
(Sumber: Mehmood dkk., 2012)

## 2.2 Tension Leg Platform (TLP)

*Tension Leg Platform* (TLP) merupakan salah satu jenis *compliant structure* yang menggunakan tambatan tether/tendon yang diikatkan ke dasar laut. Struktur ini biasanya digunakan untuk kegiatan pengeboran dan produksi minyak serta sebagai *storage* (DNV OS C105, 2008). Keistimewaan yang membedakan struktur TLP dengan bangunan laut yang lain adalah pada *buoyancy* cadangannya. Dengan daya apung yang melebihi berat struktur TLP dan *mooring vertical* yang disebut tendon akan mempertahankan TLP secara vertical tetap stabil dan mengendalikan gerakan *heave* (Kurnia, 2006). Sifat alami TLP adalah kurang sensitif terhadap bertambahnya kedalaman perairan dan dengan demikian mengurangi biaya instalasi dilapangan (Cendrawani, 2012). Komponen utama struktur TLP terdiri dari bangunan atas, geladak, badan struktur (hull) dan tergantung jenis telapak kakinya. Telapak kaki tersebut dapat mempunyai konfigurasi bintang tiga atau bintang empat tergantung kondisi dasar laut



**Gambar 2.6** Komponen Utama Struktur TLP  
(Sumber: DNV OS C105, 2008)

### 2.3 Dasar Analisa Dinamis

Menurut Chakrabarti (2004) ada dua pendekatan dasar yang dipertimbangkan dalam menganalisa masalah struktur terapung, yaitu dengan metode *frekuensi domain* dan *time domain*. *Frequency domain analysis* adalah simulasi kejadian pada saat tertentu dengan interval frekuensi yang telah ditentukan sebelumnya dan biasanya dilakukan untuk penyelesaian yang sederhana. Solusi pada metode ini diperoleh melalui pendekatan persamaan diferensial. *Frequency domain* juga dapat digunakan untuk memperkirakan respon gelombang acak termasuk gerakan *platform*. Keuntungannya adalah lebih menghemat waktu perhitungan dan juga input atau output lebih sering digunakan oleh perancang. Namun kekurangan metode ini adalah semua persamaan non-linier harus diubah dalam bentuk linear. Sedangkan *Time domain analysis* adalah penyelesaian gerakan dinamis struktur berdasarkan fungsi waktu. Pendekatan yang dilakukan dalam metode ini menggunakan prosedur integrasi waktu dan akan menghasilkan respon *time history* berdasarkan waktu  $x(t)$ . Metode *time domain* menggunakan pendekatan integrasi numeris dari persamaan gerak dari semua sistem non-linier. Beberapa contoh persamaan yang menggunakan analisa non-linier adalah gaya drag, gaya pada mooring dan viskositas damping.

### 2.4 Teori Gerak Bangunan Apung

Gerakan osilasi pada bangunan apung memiliki enam derajat kebebasan yaitu *surgings*, *swaying*, *heaving*, *rolling*, *pitching*, dan *yawing*. Gerakan yang murni dari bangunan apung terdiri dari tiga jenis gerakan, yaitu *heave*, *roll*, dan *pitch*. Tiga jenis gerakan tersebut dipengaruhi oleh *restoring force* (gaya pengembali) atau momen ketika struktur terapung bebas berada pada posisi setimbangnya. Gerakan yang lain (*surgings*, *swaying*, dan *yawing*) tidak dapat mengembalikan benda terapung tersebut pada posisi setimbang, selain itu juga tidak adanya pengaruh *exciting force* (gaya luar) yang menyebabkan aktivitas gangguan dari arah kebalikannya (Bhattacharyya, 1978). Enam derajat kebebasan tersebut dapat dibedakan menjadi dua macam mode gerak, yaitu translasional dan rotasional:

1. Mode gerak translasional:
  - a. *Surging*: Gerak osilasi translasional pada sumbu-x
  - b. *Swaying*: Gerak osilasi translasional terhadap sumbu-y

c. *Heaving*: Gerak osilasi translasional terhadap sumbu-z

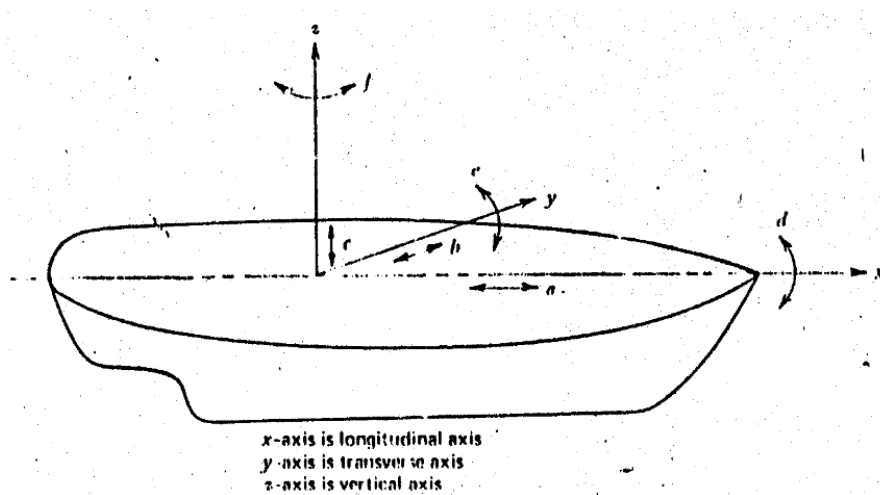
2. Mode gerak rotasional:

d. *Rolling*: Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-x

e. *Pitching*: Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-y

f. *Yawing*: Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-z

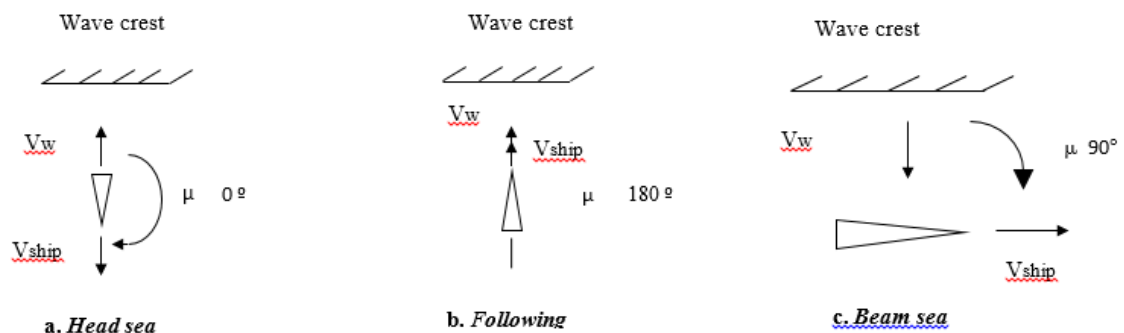
Pengertian gerakan bangunan apung dalam enam derajat kebebasan dapat dijelaskan melalui gambar di bawah ini. Dengan menggunakan konversi sumbu tangan kanan tiga gerakan translasi pada arah sumbu x, y dan z adalah masing-masing gerakan *surge*, *sway* dan *heave*, sedangkan gerakan rotasi terhadap ketiga sumbu adalah *roll*, *pitch* dan *yaw*.



**Gambar 2.7** Six Degree of Freedom pada Bangunan Apung  
(Sumber: Bhattacharyya, 1978)

## 2.5 Heading (Arah) Bangunan Apung terhadap Arah Gelombang

Sebagai gambaran arah kapal terhadap arah gelombang untuk kondisi *head sea*, *following sea*, *beam sea* dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



**Gambar 2.8** Definisi arah datang gelombang terhadap heading bangunan apung  
(Sumber: Bhattacharyya, 1978)

## 2.6 Pembebanan

Salah satu tujuan dari analisa yang dilakukan adalah untuk memastikan bahwa rancangan desain *supporting structure* yang akan dibuat memiliki kapasitas untuk menahan tegangan-tegangan yang timbul akibat beban yang bekerja. Pembebanan yang dimaksud adalah:

1. Beban mati (*dead load*), yaitu semua berat peralatan yang tetap termasuk berat struktur itu sendiri.
2. Beban hidup (*live load*), yaitu semua beban yang bisa dipindah seperti bahan bakar, kebutuhan air dll.
3. Beban lingkungan, yaitu semua beban yang berasal dari lingkungan yang berpengaruh terhadap struktur. Untuk penelitian ini beban lingkungan yang diperhitungkan adalah beban gelombang dan arus laut.

## 2.7 Prediksi Gelombang Ekstrim

Dalam melakukan analisa respon gerak pada kondisi ekstrim maka diperlukan data distribusi gelombang dalam kurun waktu panjang. Khusus untuk penelitian ini data yang dibutuhkan adalah data distribusi gelombang 100 tahunan. Gelombang laut dalam kurun waktu panjang dapat didekati dengan teori Weibull (1951) dimana kepadatan peluang yang digantikan dengan peluang kumulatifnya dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$\ln \left[ \ln \left( \frac{1}{1-P(x)} \right) \right] = \xi \ln x - \xi \ln \lambda \dots \dots \dots (2.1)$$

Untuk membentuk persamaan garis lurus maka variable  $x$  pada ruas sebelah kiri pers. (2.1) diubah menjadi notasi  $H$ , dan sebelah kanan diganti dengan notasi  $H-a$  dengan  $a$  adalah konstanta ambang tinggi gelombang yang bernilai 0 untuk perairan tertutup. Besarnya peluang kumulatif  $P(H)$  dapat dihitung dengan memperhitungkan durasi badai yang akan menimbulkan gelombang ekstrim. Durasi badai bertiup kurang lebih selama 3 jam (Djatkiko, 2012). Untuk menghitung peluang kejadian gelombang ekstrim dalam kurun waktu panjang  $P_{LT}(H)$  maka dilakukan perhitungan peluang kejadian semua intensitas gelombang yang mempunyai nilai lebih rendah dari gelombang ekstrim. Hal ini dilakukan dengan cara mengurangi peluang pasti terjadi yaitu 1,0 dengan rasio antara durasi



badai  $T_{storm}$  terhadap kurun waktu keseluruhan pengkajian  $T_{LT}$ , seperti persamaan berikut:

$$P_{LT}(H) = P(H < H_{LT}) = 1 - \frac{T_{storm}}{T_{LT} \times 365 \times 24} \dots \dots \dots (2.2)$$

## 2.8 Jari-jari Girasi

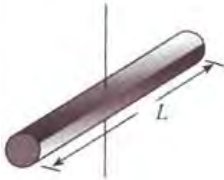
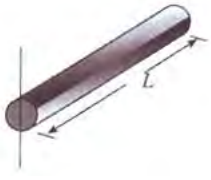
Pengertian jari-jari girasi adalah jarak yang menunjukkan distribusi massa (atau area) dari benda tersebut. Pada daerah lingkaran dengan jari-jari tersebut dianggap massa (atau area) terdistribusi secara sama. Pada suatu bidang yang memiliki luas penampang  $A$  dengan momen inertia  $I_x$  kemudian diandaikan bidang tersebut terkonsentrasi menjadi pias tipis yang sejajar dengan sumbu  $x$ , jadi supaya bidang  $A$  yang berkonsentrasi mempunyai momen inertia terhadap sumbu  $x$  pias itu harus diletakkan pada jarak  $R_x$  dari sumbu  $x$  yang didefinisikan melalui hubungan pers.

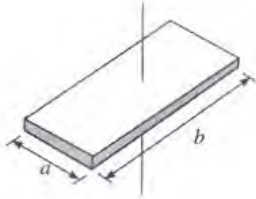
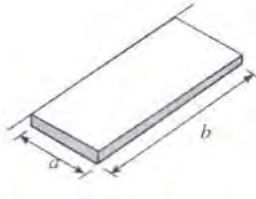
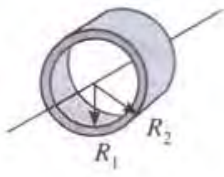
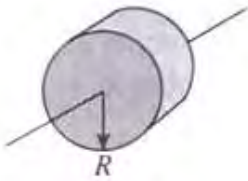
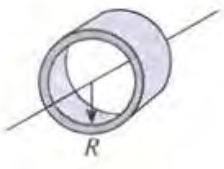


2.3 (Darmadi, 2003):

$$R = \sqrt{\frac{I_x}{m}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Jarak  $R_x$  dikenal sebagai jari-jari girasi dari bidang itu terhadap sumbu  $x$ . Sedangkan untuk menentukan momen inersia suatu benda tegar dapat digunakan persamaan yang terdapat pada tabel dibawah ini:

**Tabel 2.1** Rumus Inertia Benda Pejal

No	Jenis Benda Tegar	Gambar	Rumus Inertia
1	Batang silinder poros melalui pusat		$I = \frac{1}{12} ML^2$
2	Batang silinder poros melalui pusat		$I = \frac{1}{3} ML^2$

3	Pelat segi empat poros melalui pusat		$I = \frac{1}{2} M(a^2 + b^2)$
4	Pelat segi empat poros sepanjang tepi		$I = \frac{1}{3} Ma$
5	Silinder berongga		$I = \frac{1}{2} M(R_1^2 + R_2^2)$
6	Silinder pejal		$I = \frac{1}{2} MR^2$
7	Silinder tipis berongga		$I = MR^2$
8	Bola pejal		$I = \frac{2}{5} MR^2$
9	Bola tipis berongga		$I = \frac{2}{3} MR^2$

## 2.9 Titik Berat (*Center of Gravity*)

Titik berat sebuah benda atau struktur disebut juga titik keseimbangan benda atau titik di mana benda akan seimbang tanpa ada kecenderungan untuk berputar. Titik berat sering pula diidentifikasi sebagai titik di mana seluruh berat benda tersebut

terpusat atau titik di mana berat benda bekerja. Dua prasyarat yang harus dipenuhi:

1. Seluruh gaya linier yang bekerja harus seimbang
2. Seluruh gaya rotasi (*torque*) harus seimbang

## 2.10 Titik Apung (*Center of Buoyancy*)

Bangunan yang terapung bebas secara umum memiliki titik apung atau *center of buoyancy* yang didefinisikan sebagai titik dimana gaya tekan ke atas pada suatu benda yang mengapung sama dengan berat air yang dipindahkan (*Archimedes principle*). Titik tangkap gaya *buoyancy* sama dengan titik berat dari volume air yang dipindahkan, atau sama dengan titik berat dari bidang yang tercelup.

Struktur terapung dengan penambat tendon seperti TLP memiliki persamaan kesetimbangan tersendiri yaitu jumlah gaya berat dan gaya pretension adalah sama dengan jumlah gaya *buoyancy*. (Chakrabarti, 2005)

$$\rho g \nabla = W + T_t \cdot n_t \dots\dots\dots (2.4)$$

## 2.11 Periode Natural

Periode natural struktur perlu diketahui untuk menghindari respon struktur yang berlebihan pada daerah resonansi. Pada bangunan apung bebas tanpa terikat hanya ada 3 mode gerakan yang memiliki periode natural yaitu gerakan *heave*, *roll*, dan *pitch*. Sedangkan untuk mode gerakan lainnya tidak memiliki periode natural karena secara teknis tidak memiliki mekanisme kekakuan sendiri. Perhitungan periode natural diawali dengan mencari frekuensi natural dimana menurut Djatmiko (2012) dapat digunakan pers. 2.4 untuk frekuensi natural gerakan *heave*, pers. 2.5 untuk frekuensi natural gerakan *roll*, dan pers 2.6 untuk frekuensi natural gerakan *pitch*.

$$\omega_{nz} = \sqrt{\frac{k_{33}}{m_{33} + a_{33}}} = \sqrt{\frac{\rho g A_w}{m + a_{33}}} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\omega_{nz} = \sqrt{\frac{k_{44}}{I_{44} + a_{44}}} = \sqrt{\frac{\rho g \nabla G M_T}{I_{44} + a_{44}}} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\omega_{nz} = \sqrt{\frac{k_{55}}{I_{55} + a_{55}}} = \sqrt{\frac{\rho g \nabla G M_L}{I_{55} + a_{55}}} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} \dots\dots\dots (2.8)$$

## 2.12 Karakteristik Gelombang Acak

Gelombang laut mempunyai karakteristik yang bersifat acak atau random , yang merupakan hasil superposisi dari sejumlah gelombang regular (Djarmiko, 2012). Tetapi dari sifat random tersebut masih ada keteraturan secara statistik. Semakin banyak observasi, keteraturan statistik semakin jelas.

Dengan besaran-besaran yang membentuk gelombang yaitu :

- a. Amplitudo gelombang,  $\zeta_a$  (meter) : jarak vertikal pada (Puncak gelombang yang berada di bawah garis air tenang dan lembah yang berada di atas permukaan diberi tanda negatif sedang yang lain bertanda positif).
- b. Tinggi gelombang,  $H_a$  (meter) : jarak vertikal dari lembah ke puncak gelombang berikutnya.
- c. Periode puncak gelombang,  $T_p$  (detik) : waktu antara dua puncak gelombang
- d. Periode silangan gelombang,  $T_z$  (detik): waktu antara dua titik berurutan di mana permukaan gelombang menyilang permukaan air tenang, baik pada saat permukaan gelombang naik maupun turun.

Ukuran - ukuran di atas untuk mengkarakterisasikan keseluruhan waktu catatan gelombang (*time history*). Untuk menjelaskan karakteristik umum dan *time history* gelombang biasa dipakai bentuk harga rata-rata (*mean*) besaran-besaran gelombang sebagai berikut:

$\bar{\zeta}_a$  = harga rata-rata dari berbagai pengukuran amplitudo gelombang (meter)

$\bar{H}_a$  = harga rata-rata dari berbagai pengukuran tinggi gelombang  $H_a$  (meter)

$\bar{T}_p$  = harga rata-rata dari berbagai pengukuran periode puncak gelombang  
 $T_p$  (meter)

$\bar{a}_{1/3}$  = harga rata-rata dari 1/3 jumlah keseluruhan  $a$  yang tertinggi, atau disebut sebagai amplitudo gelombang signifikan.

$\bar{H}_{1/3}$  = harga rata-rata dari 1/3 jumlah keseluruhan  $H_{1/3}$  atau disebut sebagai tinggi gelombang signifikan.

Pengertian fisik dapat dinyatakan sebagai penggambaran bahwa gelombang acak adalah merupakan penjumlahan dari sejumlah besar komponen gelombang sinusoidal dengan amplitudo  $\zeta_{n0}$  dan frekuensi  $\omega_n$

### 2.13 Respon Struktur pada Gelombang Reguler

Dalam mendapatkan respon struktur pada gelombang reguler maka perlu dilakukan pencarian RAO. *Response Amplitude Operator* (RAO) atau disebut juga dengan *Transfer Function* merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang disebabkan akibat gelombang reguler dengan rentang frekuensi tertentu. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur. Menurut Chakrabarti (1987), persamaan RAO dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \dots\dots\dots (2.9)$$

Gelombang reguler sendiri didefinisikan sebagai gelombang yang memiliki amplitudo 1 m atau bisa juga disebut memiliki tinggi gelombang 2 m.

### 2.14 Respon Struktur pada Gelombang Irreguler

Respon pada struktur *offshore* (baik struktur *fixed* maupun terapung) akibat gelombang irreguler dalam tiap-tiap frekuensi, dapat diketahui dengan menggunakan metode *spectra*. Nilai amplitudo pada suatu response secara umum hampir sama dengan amplitudo gelombang. Bentuk normal suatu respon dari sistem linier tidak berbeda dengan bentuk amplitudo gelombang dalam fungsi frekuensi.

*Response spectra* didefinisikan sebagai respons kerapatan energi pada struktur akibat gelombang, dalam hal ini berupa *energy density spectrum*. *Response spectra* dapat digunakan untuk mengetahui besarnya respon maksimum yang mungkin terjadi dalam suatu rentang waktu tertentu. *Response spectra* itu sendiri merupakan perkalian antara spektrum gelombang dengan RAO kuadrat, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$S_R = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \dots\dots\dots (2.10)$$

## 2.15 Spektrum Gelombang

Pemilihan spektrum energi gelombang didasarkan pada kondisi *real* laut yang ditinjau. Bila tidak ada maka dapat digunakan model spektrum yang dikeluarkan oleh berbagai institusi dengan mempertimbangkan kesamaan fisik lingkungan. Dari spektrum gelombang dapat diketahui parameter-parameter gelombang :

**Tabel 2.2** Amplitudo dan Tinggi Gelombang pada Spektrum

Profil Gelombang	Amplitudo	Tinggi
Gelombang Rata-rata	$1,25\sqrt{m_0}$	$2,5\sqrt{m_0}$
Gelombang Signifikan	$2,00\sqrt{m_0}$	$4,00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/10 Gelombang Tertinggi	$2,55\sqrt{m_0}$	$5,00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/1000 Gelombang Tertinggi	$3,44\sqrt{m_0}$	$6,67\sqrt{m_0}$

dimana :

$$m_0 = \int_0^\infty S(\omega) d\omega \dots\dots\dots (2.11)$$

Spektrum gelombang yang dipakai dalam tugas akhir ini adalah spektrum JONSWAP. Persamaan spektrum JONSWAP merupakan modifikasi dari persamaan spektrum Pierson-Morkowitz yang disesuaikan dengan kondisi laut yang ada. Menurut DNV RP C205 (2007) Persamaan spektrum JONSWAP dapat ditulis sebagai berikut :

$$S_J(\omega) = A_\gamma S_{PM}(\omega) \gamma^{\exp(-0,5\left(\frac{\omega-\omega_p}{\sigma\omega_p}\right)^2)} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dan untuk persamaan spektrum Pierson-Moskowitz

$$S_{PM}(\omega) = \frac{5}{6} \cdot H_s^2 \omega_p^4 \cdot \omega^{-5} \exp\left[-\frac{5}{4}\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right] \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana  $\gamma$  memiliki nilai 3,3 yang didapat dari data eksperimen, namun untuk perairan Indonesia disarankan untuk menggunakan nilai 2,0 hingga 2,5 (Djarmiko, 2012). Sedangkan untuk  $\sigma$  memiliki nilai 0,07 untuk  $\omega < \omega_p$  dan 0,09 untuk  $\omega \geq \omega_p = 0,09$  (DNV RP C205, 2007). Untuk  $A_\gamma$  yang merupakan normalizing factor dapat dicari dengan menggunakan persamaan

$$A_\gamma = 1 - 0,287 \ln(\gamma) \dots\dots\dots (2.14)$$

## 2.16 Sistem *Mooring Line*.

Ada beberapa cara mooring yang bisa dipilih untuk dipasang pada *supporting structure* PLTAL yang akan dibuat. Pemasangan yang dilakukan tergantung dengan kebutuhan. Cara pemasangan yang bisa dipilih diantaranya:

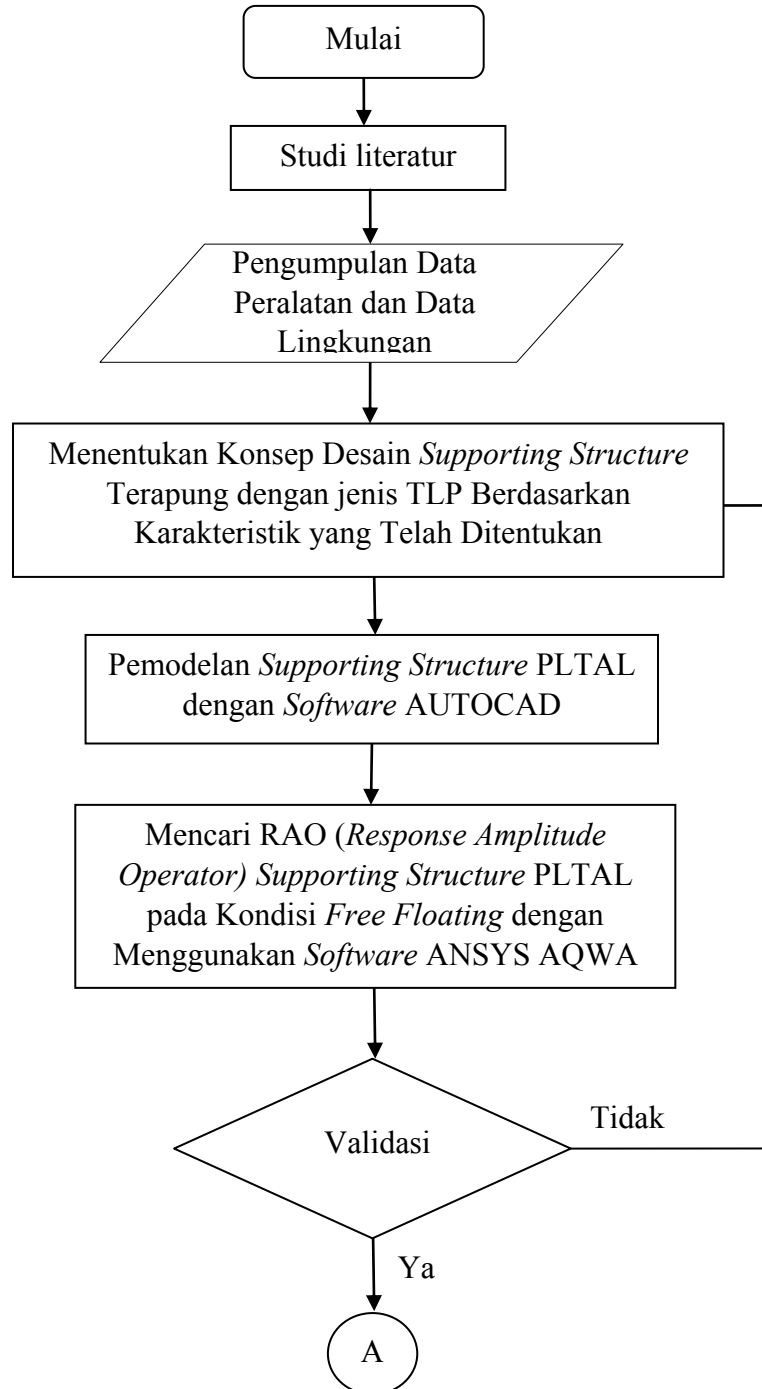
- a. Dipasang menggunakan tali (mooring) dan pile pancang.
- b. Dipasang dengan piling, sehingga nantinya dapat bergerak naik turun tanpa ada gerakan lateral.
- c. Dipasang menggunakan masa konkrit atau jangkar kapal yang ditali.

## BAB III

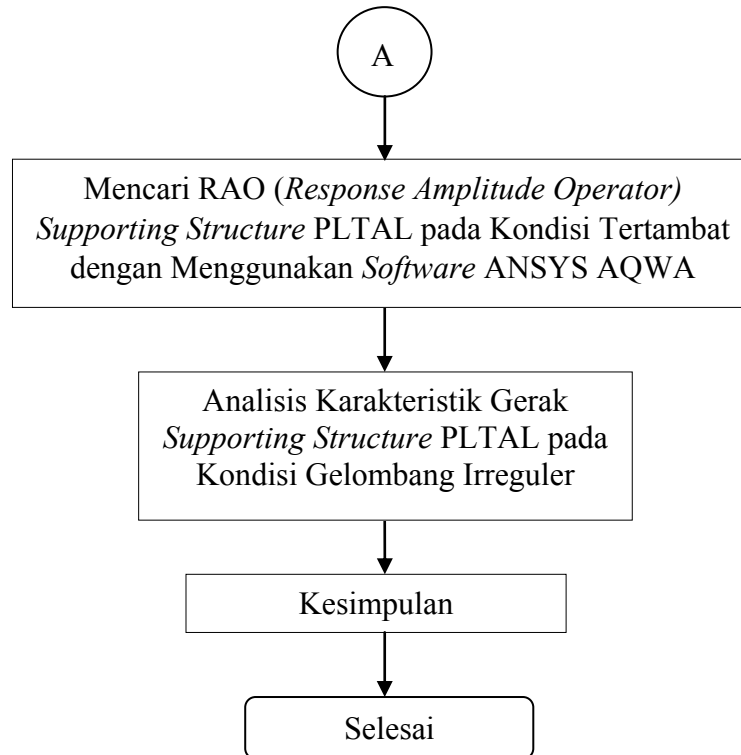
### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir (*flow chart*)

Metodologi penelitian yang digunakan dapat digambarkan dalam diagram alir (*flow chart*) pengerjaan seperti diagram dibawah ini:







### 3.2 Penjelasan Diagram Alir (*flow chart*)

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari referensi seperti jurnal, buku, tugas akhir, tesis dan semua sumber yang dapat mendukung pengerjaan tugas akhir ini.

2. Pengumpulan Data Peralatan dan Data Lingkungan

Data yang dikumpulkan merupakan data sekunder dari beberapa sumber. Data yang dibutuhkan adalah data peralatan yang dibutuhkan beserta beratnya, data kecepatan arus laut, data peta batimetri dan data gelombang serta data lokasi penempatan PLTAL. Data tersebut digunakan sebagai pertimbangan dalam menentukan jenis dan desain *supporting structure* serta sebagai input dalam pembebanan struktur pada *software* ANSYS AQWA.

3. Menentukan Konsep Desain Supporting Structure Terapung dengan jenis TLP Berdasarkan Karakteristik yang Telah Ditentukan

Dalam penelitian jenis struktur yang dipilih adalah jenis TLP 3 *column* dengan penentuan dimensi berdasarkan karakteristik umum yang telah banyak digunakan dan mengaju pada *code* dan *standard* yang ada. Dalam penelitian ini *code* yang digunakan adalah DNV.

4. Pemodelan *Supporting Structure* PLTAL dengan *Software* AUTOCAD

Pada tahap ini dilakukan pemodelan detail struktur dengan menggunakan *software* AUTOCAD. Hasil pemodelan akan digunakan untuk mencari RAO (*Response Amplitude Operator*) pada *software* ANSYS AQWA.

5. Mencari RAO (*Response Amplitude Operator*) *Supporting Structure* PLTAL pada Kondisi *Free Floating* dengan Menggunakan *Software* ANSYS AQWA

Analisis respon gerak struktur pada gelombang regular adalah dengan mencari RAO (*Response Amplitude Operator*) *supporting structure* PLTAL menggunakan *software* ANSYS AQWA. Analisis RAO dilakukan untuk mendapatkan nilai perbandingan amplitudo struktur dengan amplitudo gelombang. Output dari *software* ANSYS AQWA berupa nilai dan grafik RAO untuk setiap *heading angle*  $30^0$  ( $0^0$ ,  $30^0$ ,  $60^0$ ,  $90^0$ ,  $120^0$ ,  $150^0$ ,  $180^0$ ,  $210^0$ ,  $240^0$ ,  $270^0$ ,  $300^0$ ,  $330^0$ ) pada mode gerakan *heave*, *pitch* dan *roll*. Mode gerakan ini dipilih karena paling dominan pengaruhnya terhadap struktur pada kondisi *free floating*.

6. Validasi

Setelah mendapatkan RAO pada tiap heading dan gerakan osilasi maka selanjutnya dilakukan verifikasi periode natural dari RAO terhadap perhitungan periode natural secara numerik.

7. Mencari RAO (*Response Amplitude Operator*) *Supporting Structure* PLTAL pada Kondisi Tertambat dengan Menggunakan *Software* ANSYS AQWA

Seperti halnya dengan kondisi *free floating*, analisis RAO (*Response Amplitude Operator*) *supporting structure* PLTAL kondisi tertambat juga menggunakan *software* ANSYS AQWA. *Heading* pembebanan yang digunakan adalah setiap  $30^0$  ( $0^0$ ,  $30^0$ ,  $60^0$ ,  $90^0$ ,  $120^0$ ,  $150^0$ ,  $180^0$ ,  $210^0$ ,  $240^0$ ,  $270^0$ ,  $300^0$ ,  $330^0$ ) untuk semua mode gerakan *SDOF* (*heave*, *surge*, *sway*, *yaw*, *pitch* dan *roll*). Dari hasil ini nantinya juga akan dibandingkan dengan RAO pada kondisi *free floating*.

8. Analisis Karakteristik Gerak *Supporting Structure* PLTAL pada Kondisi Gelombang Irregular

Setelah mendapatkan nilai RAO yang telah di validasi untuk setiap gerakan, selanjutnya dilakukan *transer function* dengan mentransformasikan spektrum gelombang menjadi spektrum gerakan struktur terapung. Hal ini dapat dilakukan dengan mengkalikan harga pangkat dua dari *response amplitude operator* (RAO) dan mode gerakan tertentu dengan ordinat spektrum gelombang, pada frekuensi yang sama. Spektra gelombang yang digunakan dalam penelitian ini adalah Spektra JONSWAP.

#### 9. Kesimpulan

Dengan mempertimbangkan hasil dari pengolahan data yang telah didapatkan maka dapat ditarik kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah dari penelitian ini.

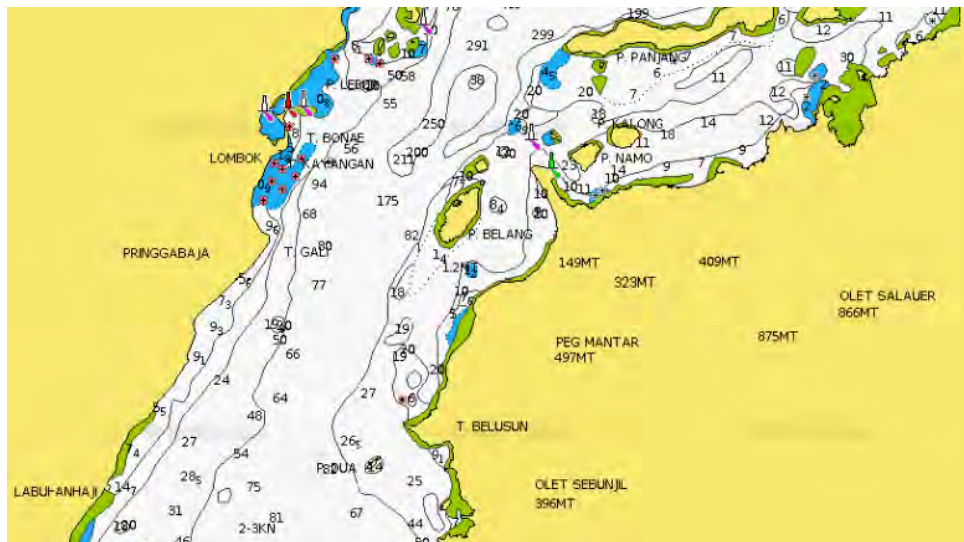
## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Tinjauan Lokasi Penempatan PLTAL

##### 4.1.1 Kondisi Geografis

Selat Alas merupakan salah satu selat yang terletak di propinsi Nusa Tenggara Barat lebih tepatnya berada diantara Pulau Lombok disebelah barat dan Pulau Sumbawa yang berada disebelah timur. Selat ini juga menghubungkan Samudera Hindia disebelah selatan dan Laut Flores disebelah utaranya dengan lebar perairan kurang lebih 47 km. Kedalaman laut diperairan Selat Alas bervariasi antara 0-300 m.



**Gambar 4.1** Peta Batimetri Selat Alas  
(Sumber: <http://webapp.navionics.com>, 2015)

##### 4.1.2 Pemilihan Letak Penempatan PLTAL

Pada penelitian ini lokasi yang dipilih untuk meletakkan PLTAL adalah di perairan Tanjung Gali Segara Kabupaten Lombok Timur, lebih tepatnya terletak pada longitude E 116.673804 dan latitude S 08.555681 dengan kedalaman laut sebesar 15,5 m. Dalam menentukan lokasi penempatan PLTAL ini digunakan beberapa kriteria yang harus diperhatikan antara lain habitat terumbu karang, jalur pelayaran dan perencanaan wilayah.

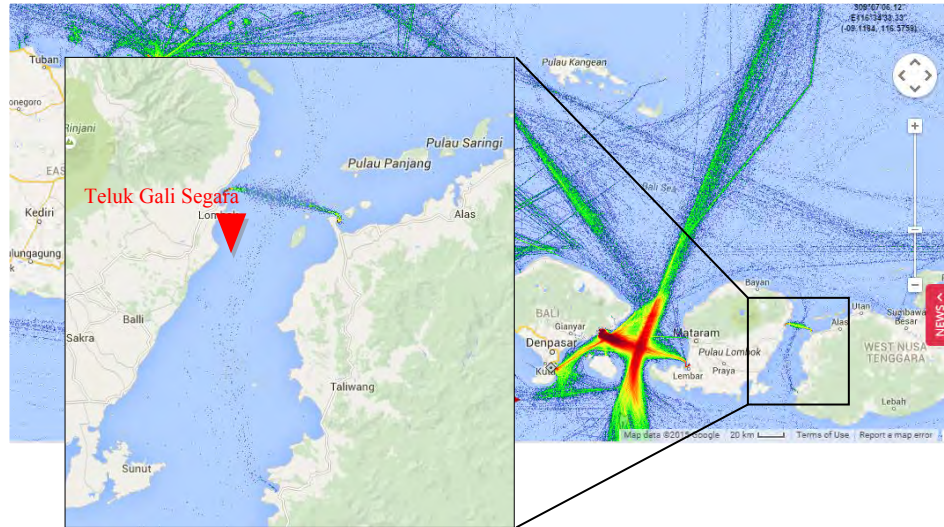
Terumbu karang dilingkungan laut merupakan salah satu habitat yang rentan mengalami kerusakan jika ada suatu struktur baru yang berada disekitarnya. Oleh

karena itu dalam membangun sebuah PLTAL harus memperhatikan letak persebaran habitat terumbu karang sehingga nantinya ketika PLTAL telah terinstal tidak akan memberikan dampak kerusakan yang signifikan terhadap lingkungan sekitarnya. Dari data peta persebaran terumbu karang di wilayah Lombok Timur didapatkan bahwa wilayah perairan Tanjung Gali Segara merupakan tempat yang ideal untuk penempatan PLTAL karena wilayahnya yang tidak dikelilingi dengan terumbu karang seperti yang terlihat pada Gambar 4.2 dengan keterangan warna orange pada gambar menunjukkan adanya habitat terumbu karang.



**Gambar 4.2** Peta Persebaran Habitat Terumbu Karang di Pulau Lombok  
(Sumber: <http://ctatlas.reefbase.org>, 2015)

Faktor lain yang perlu diperhatikan dalam menentukan posisi PLTAL adalah terkait dengan jalur pelayaran yang telah ada baik itu jalur kapal domestik maupun jalur kapal internasional. Posisi PLTAL sebisa mungkin menghindari jalur pelayaran agar nantinya ketika telah terinstal tidak menyebabkan kecelakaan kapal yang melewati perairan yang ditempati oleh PLTAL karena posisinya yang mengapung dibawah permukaan laut maka akan sulit untuk terlihat.



**Gambar 4.3** Jalur Pelayaran Kapal Domestik dan Kapal Internasional  
(Sumber: <http://marinetraffic.com>, 2015)

Dari Gambar 4.3 terlihat bahwa perairan Tanjung Gali Segara bukan merupakan jalur pelayaran kapal domestik maupun kapal internasional sehingga tempat ini ideal untuk penempatan PLTAL. Jalur internasional lebih banyak melewati Selat Lombok sedangkan untuk jalur domestik di Selat Alas lebih banyak melewati perairan disebelah utara Tanjung Gali Segara.

Faktor terakhir yang perlu diperhatikan adalah terkait perencanaan wilayah sehingga nantinya diharapkan penginstalan PLTAL sesuai dengan rencana pengembangan wilayah yang akan ditempati. Selain itu juga apabila penempatan sesuai dengan perencanaan wilayah maka perijinan pembangunan akan lebih mudah. Pada penelitian ini PLTAL ditempatkan diperairan bebas yang tidak diperuntukkan untuk kegiatan tertentu seperti pariwisata dan perikanan nelayan lokal seperti yang terlihat pada Gambar 4.4



**Gambar 4.4** Peta Rencana Penggunaan Wilayah di Pulau Lombok  
(Sumber: <http://lombokrooms.com>, 2015)

### 4.1.3 Kondisi Lingkungan

Dalam merencanakan suatu bangunan lepas pantai maka perlu diketahui gaya-gaya eksternal yang mengenai struktur. Hal ini penting karena berkaitan dengan respon gerka, stabilitas dan kekuatan bangunan lepas pantai yang akan direncanakan. Salah satu jenis gaya eksternal adalah gaya lingkungan yang terdiri dari arus laut dan gelombang.

#### 4.1.3.1 Arus Laut

Kecepatan arus laut diperairan Selat Alas dapat dikategorikan cukup besar bila dibandingkan dengan kecepatan arus diwilayah perairan Indonesia lainnya. Letak geografisnya yang menghubungkan dua laut besar menyebabkan wilayah Selat Alas memiliki kecepatan arus yang besar. Tipe arus laut di Selat Alas memiliki karakteristik gerakan *reversing current* yang didominasi oleh arus pasang surut, dimana pada saat pasang arus laut bergerak masuk dan pada saat surut arus laut bergerak kearah luar selat.

Pengukuran data kecepatan arus laut perairan Tanjung Gali Segara dilakukan pada 9-30 Juni tahun 2006 di kedalaman 15,5 m. Dari hasil pengukuran didapatkan



bahwa kecepatan arus laut maksimal terbesar terjadi pada kedalaman 4,67 m dibawah permukaan laut yaitu sebesar 2,37 m/s dan kecepatan arus laut maksimal terendah terjadi pada kedalaman 0 m dari permukaan laut yaitu sebesar 1,91 m/s. Sedangkan untuk kecepatan arus laut rata-rata terbesar juga terjadi pada kedalaman 4,67 m dari permukaan laut yaitu sebesar 1,07 m/s dan kecepatan arus laut terendah ada di kedalaman 0 m dari permukaan laut dengan besaran 0,66 m/s. Dari hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwa kecepatan arus laut di perairan Tanjung Gali Segara lebih banyak dipengaruhi oleh perubahan pasang surut air laut bila dibandingkan dengan kecepatan angin. Analisis pada penelitian ini menggunakan data kecepatan arus 10 tahun *return periode* dikarenakan analisis yang akan dilakukan adalah pada kondisi ekstrim.

**Tabel 4.1** Data Kecepatan Arus Laut di Tanjung Gali Segara

d (m)	$V_{rt}$ (m/s)	$V_{max}$ (m/s)	$V_{10}$ (m/s)
0,00	0,66	1,91	3.11
4,67	1,07	2,37	3.43
9,33	1,06	2,29	4.23
14,00	0,84	1,93	3.32

#### 4.1.3.2 Gelombang Laut

Data gelombang di perairan Tanjung Gali Segara didapatkan dari pengukuran yang dilakukan pada bulan Januari hingga bulan Desember tahun 2014. Dikarenakan analisa dinamis yang akan dilakukan pada penelitian adalah analisa pada kondisi ekstrim maka perlu dilakukan peramalan *return period* hingga 100 tahun dengan menggunakan metode regresi. Gelombang laut dalam kurun waktu panjang akan mempunyai distribusi yang dapat didekati dengan distribusi Weibull. Data yang dibutuhkan antara lain tinggi gelombang signifikan, periode puncak gelombang dan spektra gelombang. Jenis spektra gelombang dipilih menggunakan Spektra JONSWAP karena jenis perairan Selat Alas adalah perairan tertutup.

**Tabel 4.2** Data Gelombang 100 Year Return Period

Deskripsi	Nilai	Satuan
Tinggi Gelombang Signifikan	2,57	m
Periode Gelombang Puncak	16,48	s
Spektra Gelombang	JOHNSWAP	



#### 4.2 Tipe *Supporting Structure* PLTAL

Pemilihan tipe bangunan lepas pantai sangat tergantung dengan kondisi daerah yang akan dilakukan penginstalan bangunan tersebut. Pada penelitian ini jenis bangunan lepas pantai yang akan diinstal diperairan Tanjung Gali Segara adalah jenis *Tension Leg Platform* (TLP) dengan modifikasi 3 *column* kecil. Faktor utama pemilihan jenis ini dibandingkan dengan *existing structure* sekarang yaitu model *catamaran* adalah karena struktur turbin pembangkit listrik arus laut membutuhkan kondisi yang stabil ketika menyerap energi arus laut sehingga model TLP dipilih karena stabilitas yang lebih baik ketika meredam gerakan *heave*, *pitch* dan *roll* yang merupakan 3 mode gerakan yang paling dominan terjadi. Selain itu juga dikarenakan potensi kecepatan arus laut terbaik di perairan Tanjung Gali Segara adalah pada kedalaman 4,67 m maka dibutuhkan poros yang cukup panjang dari permukaan laut. Oleh karena itu untuk memperkuat struktur poros maka diperlukan penegar agar poros tidak mudah mengalami *fracture* ataupun jenis kerusakan struktur yang lain. Beberapa kriteria perbandingan antara model TLP dan *catamaran* dapat dilihat pada table 4.3

**Tabel 4.3** Perbandingan Antara Jenis TLP dan Jenis *Catamaran*

Kriteria	Jenis TLP	Jenis <i>Catamaran</i>
Stabilitas	+	-
Kekuatan Struktur	+	-
<i>Life Service</i>	+	-
Metode <i>Load Out</i>	-	+

Model *catamaran* memiliki kelebihan pada proses *load out* karena strukturnya yang langsung bisa mengapung walau diperairan dangkal. Pada model TLP proses *load out* tetap bisa dilakukan dengan menggunakan kapal barge sederhana dan tidak memerlukan struktur *crane* untuk mengangkat karena struktur TLP ini termasuk jenis struktur kecil. Struktur TLP juga dipilih menggunakan 3 *column* dibandingkan dengan 4 *column* adalah untuk mengurangi biaya pembuatan dan dikarenakan juga penambahan *column* tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan stabilitas struktur.

### 4.3 Desain *Supporting Structure* PLTAL

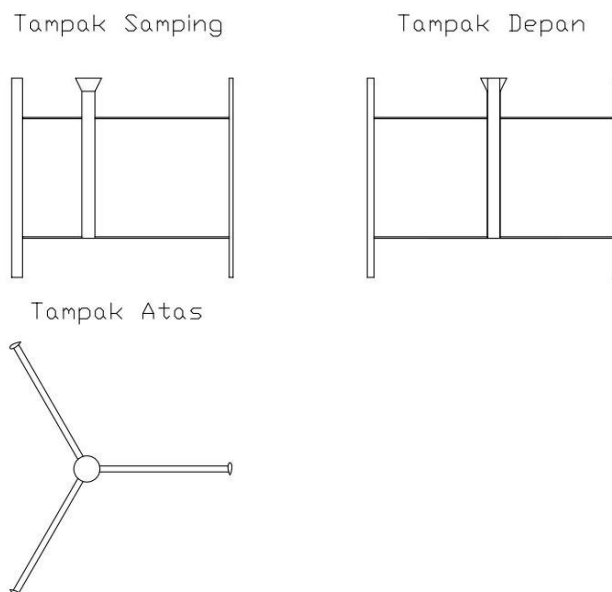
Tahap desain *supporting structure* PLTAL meliputi pengukuran dimensi struktur, perhitungan berat dan *center of gravity* struktur dan yang terakhir adalah perhitungan jari-jari girasi. Pemodelan struktur menggunakan bantuan *software* AutoCAD 2016 dalam bentuk Gambar 2D maupun Gambar 3D.

#### 4.3.1 Data *Equipment* dan Turbin

Perencanaan dimensi harus bisa memenuhi kebutuhan minimal dari turbin PLTAL dan peralatan yang ada di *deck* serta dapat menahan gaya eksternal yang mengenai struktur. Data *equipment* yang berada di atas *deck* yang memiliki dimensi 2x2x1 m dengan berat sebesar 0,1 ton. Untuk data turbin dapat dilihat pada table 4.4

**Tabel 4.4** Data Turbin *Vertical Axis* BPPT

Kriteria	Keterangan
Tipe <i>Blade</i>	<i>Vertical Axis Tidal Turbine</i> NACA 0018 ( <i>three-blades</i> )
Panjang Rotor	2,5 meter
Diameter Rotor	3,6 meter
Luas Putaran Turbin	9 m <sup>2</sup>
Densitas Air Laut	1025 kg/m <sup>3</sup>
Efisiensi Turbin	50%
Panjang <i>Chord</i>	152,4 mm
Kapasitas	10 kW
Berat	0.38 ton



**Gambar 4.5** Bentuk *Vertical Axis Turbine* BPPT LHI

#### 4.3.2 Kriteria dan Pertimbangan Desain *Supporting Structure* PLTAL jenis TLP

Dari data diatas maka kemudian ditentukan kebutuhan utama dari struktur yang akan dibuat. Dalam hal ini *supporting structure* PLTAL memiliki beberapa kriteria yang harus dicapai yaitu:

1. Luas *deck* harus cukup untuk menampung *equipment* yang memiliki dimensi 2x2x1 m.
2. Sarat air struktur adalah sebesar 2,5 m karena potensi arus laut terkuat adalah pada kedalaman 2,5 m hingga 5 m.
3. Struktur dirancang memiliki *freeboard* 1,5 m untuk menghindari gelombang.

Setelah mendapatkan kriteria utama yang harus dipenuhi maka langkah selanjutnya yaitu menentukan dimensi dari *column* dan *pontoon* struktur yang mengacu pada desain struktur TLP yang pernah ada. Chakrabarti (2005) memberikan beberapa pertimbangan dan ketentuan dalam melakukan desain TLP yaitu antara lain:

1. Gaya tendon adalah 25 - 45 % besar gaya *buoyancy*.
2. Volume *pontoon* adalah sebesar  $\leq 30$  % dari total volume *buoyancy* untuk memberikan stabilitas struktur yang lebih baik.
3. Untuk *pontoon* berbentuk kotak disarankan lebar dan tinggi memiliki perbandingan sebesar 3:2.
4. Untuk *pontoon* eksternal disarankan memiliki panjang 1 - 1,5 kali besar diameter *column*.

Dalam kaitannya dengan periode natural struktur, DNV RP C205 (2007) memberikan kriteria tipikal periode natural untuk jenis struktur TLP tertambat yaitu:

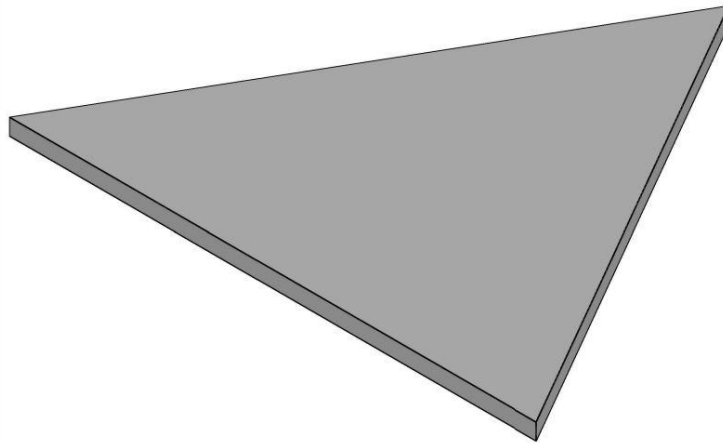
**Tabel 4.5** Kriteria Periode Natural Struktur TLP Tertambat

	<i>Heave</i>	<i>Roll</i>	<i>Pitch</i>
Periode Natural (s)	<5	<5	<5

Periode natural gerakan *heave*, *roll* dan *pitch* disarankan mempunyai nilai dibawah 5 karena untuk menghindari eksitasi gelombang orde pertama.

#### 4.3.3 Perencanaan Dimensi TLP

Dalam merencanakan dimensi TLP harus disesuaikan dengan kriteria dan pertimbangan yang dijelaskan sebelumnya. Selain itu juga *Supporting structure* jenis TLP ini dipilih menggunakan 3 *column* karena pertimbangan untuk mengurangi bahan yang digunakan dan bila ditinjau dari respon gerak strukturnya maka struktur TLP 3 *column* dibandingkan dengan struktur TLP 4 *column* perbedaan responnya tidak terlalu signifikan. Struktur *deck* dirancang memiliki bentuk segitiga sama sisi dengan panjang sisi sebesar 5 m untuk memberikan ruang yang cukup bagi peletakan *equipment*. Tebal pelat *deck* memiliki ukuran 0,008 m karena untuk struktur lepas pantai dianjurkan ketebalan minimal pelat adalah 0,008 m, tetapi umumnya digunakan pelat 0,0095 m.



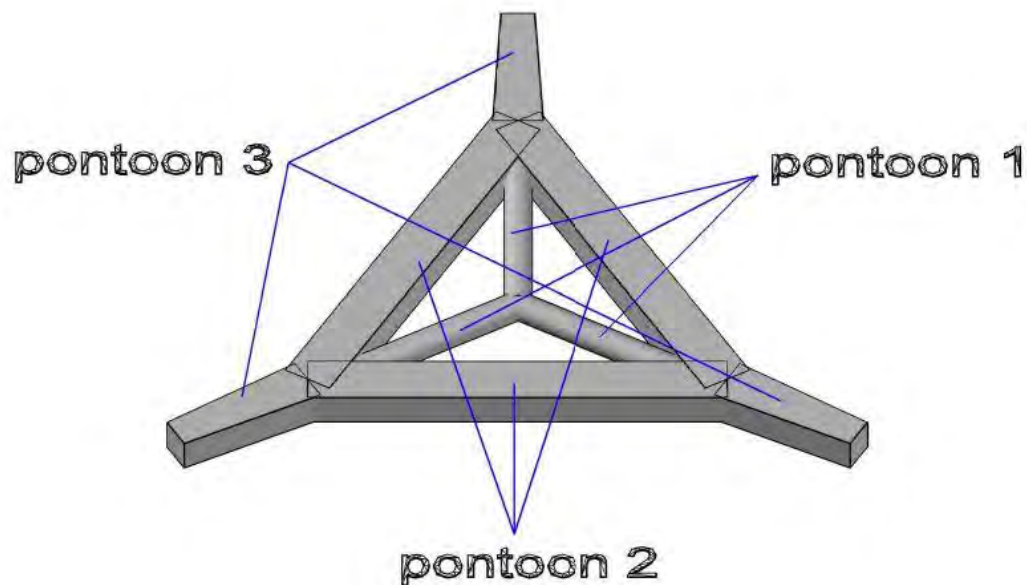
**Gambar 4.6** Bentuk Struktur *Deck*

Selanjutnya dengan bantuan perhitungan *spreadsheet Ms. Excel* dilakukan penentuan ukuran *column*, *stiffener*, dan *pontoon* yang disesuaikan dengan kriteria dan pertimbangan yang telah ditentukan serta dalam pembuatannya juga memperhatikan bentuk yang proporsional. Untuk mempermudah pendesainan maka ukuran *stiffener* dan *pontoon* dibuat tetap yaitu untuk *stiffener* memiliki diameter 0,33 m dan panjang 4,55 m serta dengan ketebalan 0,006 m. Pembuatan *stiffener* bertujuan sebagai penguat poros dari turbin PLTAL yang memanjang hingga ke bagian terbawah struktur. Bagian struktur *pontoon* terdiri dari 3 bagian seperti yang dijelaskan pada Tabel 4.6 berikut ini:

**Tabel 4.6** Dimensi Struktur *Pontoon*

<i>Pontoon</i>	Jenis	Ukuran	Jumlah
<i>Pontoon 1</i>	<i>Tubular</i>	Diameter 0,33 m, Tebal 0,006 m	3
<i>Pontoon 2</i>	<i>Boxes</i>	Tinggi 0,4 m, Lebar 0,6 m, Tebal 0,006 m	3
<i>Pontoon 3</i>	<i>Boxes</i>	Tinggi 0,4 m, Lebar 0,4-0,6 m, Tebal 0,006 m	3

*Pontoon 1* difungsikan sebagai penguat dari *stiffener* dan sebagai pertimbangan terkait kekuatan dari struktur maka untuk struktur tubular seperti *pontoon 1* harus memiliki nilai  $D/t < 60$ . Untuk *pontoon 2* dan *pontoon 3* memiliki bentuk *boxes* karena tren dari bentuk struktur *pontoon* adalah mengarah ke bentuk *boxes* dibandingkan bentuk *tubular*, fungsi utama dari struktur ini adalah untuk faktor kekuatan struktur dan meredam respon struktur pada mode gerak *heave*, *roll*, dan *pitch*. Ujung dari *pontoon 3* juga akan digunakan sebagai tempat unruk menginstall tendon.



**Gambar 4.7** Bentuk Struktur *Pontoon*

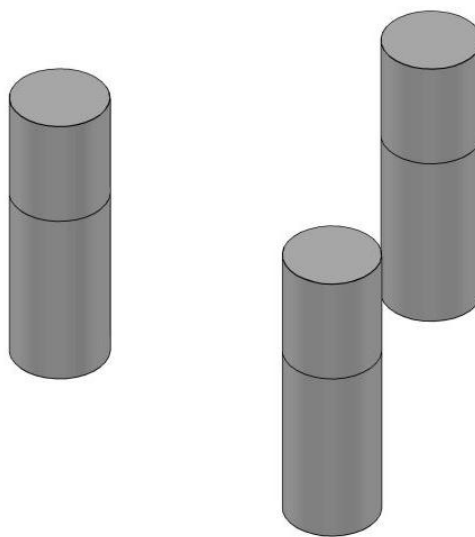
Struktur *column* memiliki bentuk memanjang kebawah yang memiliki fungsi sebagai penyedia utama *buoyancy*, penyangga berat struktur dan tegangan tali tendon. Dimensi dari struktur *column* memiliki proporsi tertentu dengan struktur *pontoon* oleh karena itu dilakukan beberapa variasi ukuran dengan bantuan *spreadsheet Ms Excel* untuk menentukan dimensi *column* yang sesuai dengan

kriteria dan pertimbangan yang telah ditentukan. Lebih jelasnya terkait penentuan dimensi *column* dapat dilihat pada Tabel 4.7 dibawah ini:

**Tabel 4.7** Variasi Dimensi Struktur *Column*

Diameter	Gaya Berat Struktur 55-75 % dari Gaya <i>Buoyancy</i>	<i>Buoyancy Pontoon</i> $\leq 30$ % <i>Buoyancy Total</i>
1 m	79,318 %	38,648 %
1,1 m	75,401 %	34,390 %
1,2 m	71,676 %	30,657 %
1,3 m	68,181 %	27,394 %
1,4 m	64,930 %	24,546 %
1,5 m	61,924 %	22,059 %

Dari Tabel 4.7 terlihat bahwa ukuran diameter *column* yang memenuhi kriteria dan pertimbangan adalah 1,3 m – 1,5 m. Karena mempertimbangkan bahan struktur agar tidak terlalu boros selain juga mempertimbangkan kriteria dan pertimbangan yang telah ditentukan maka dipilih ukuran diameter *column* yaitu sebesar 1,3 m. Panjang *column* dirancang memiliki ukuran 4 m menyesuaikan dengan sarat air struktur yaitu sebesar 2,5 m dan tinggi *freeboard* struktur yaitu 1,5 m. Jarak antar *column* dibuat 5 m dan untuk ketebalan dinding *column* sebesar 0,013 m karena biasanya ketebalan dinding *column* yang dipakai adalah 0,0127 m sampai 0,0635 m. Kurang dari 0,0127 m menyebabkan masalah korosi cepat terjadi. Ketebalan lebih dari 0,0635 menyebabkan kesulitan dalam fabrikasi dan sering terjadi patahan di daerah titik pengelasan antar *brace*.

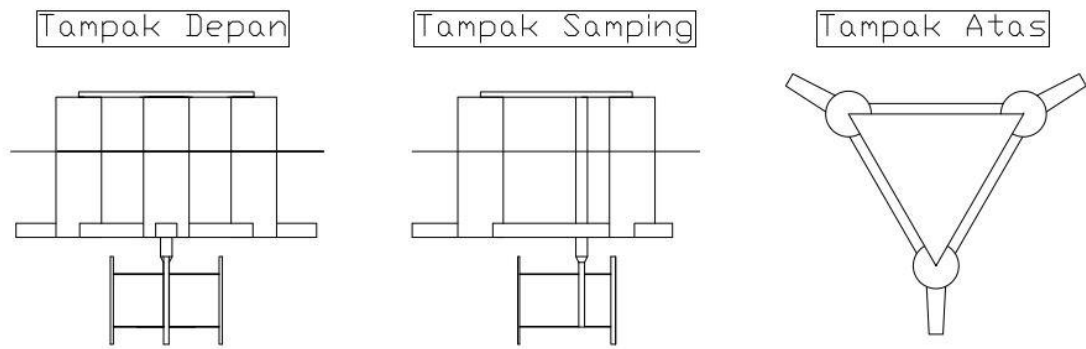


**Gambar 4.8** Bentuk Struktur *Column*

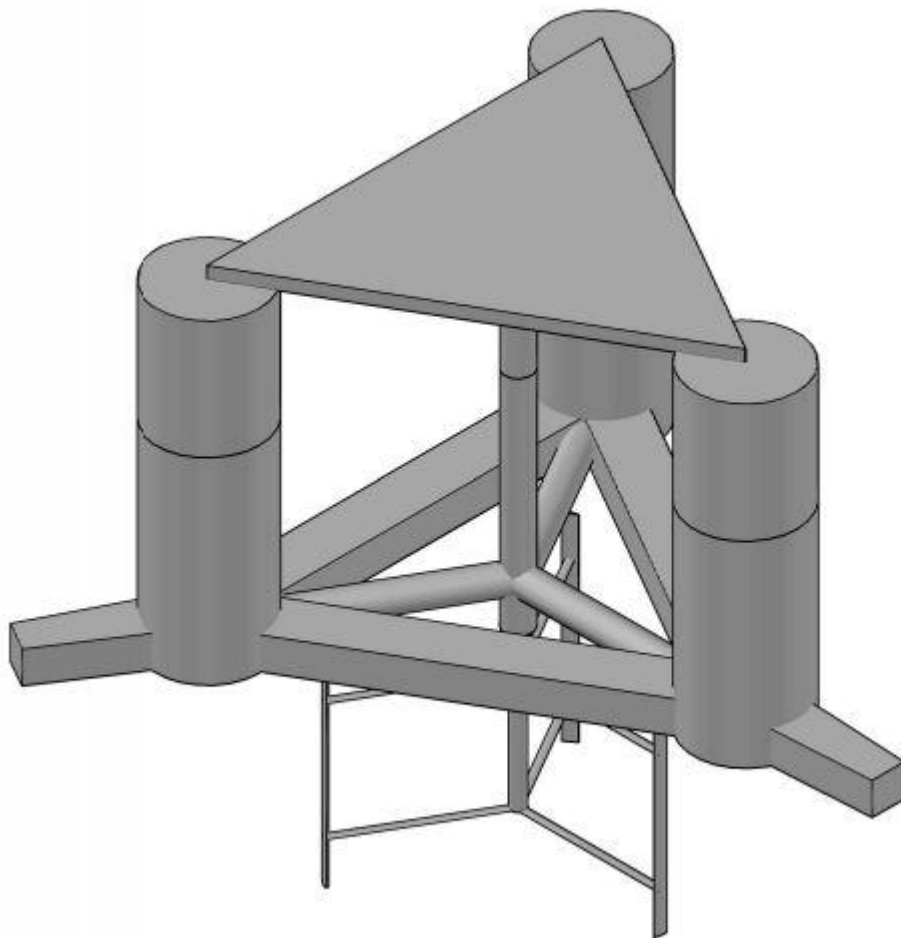
Dari perhitungan dimensi *supporting structure* PLTAL jenis TLP didapatkan bahwa total displasemen ( $\Delta$ ) struktur adalah 144,218 kN dengan gaya pretension total yaitu 45,889 kN. Secara keseluruhan dapat disimpulkan dimensi *supporting structure* PLTAL yaitu pada Tabel 4.8

**Tabel 4.8** Dimensi *Supporting Structure* PLTAL dengan jenis *Tension Leg Platform*

Kriteria	Nilai	Satuan
Tinggi <i>Deck</i>	0.15	m
Panjang Alas <i>Deck</i>	5	m
Tebal <i>Deck</i>	0.008	m
Tinggi Alas <i>Deck</i>	4.33	m
Jumlah Kaki	3	
Ketebalan <i>Column</i>	0.013	m
Diameter <i>Column</i>	1.5	m
Jari-jari <i>Column</i>	0.75	m
Tinggi <i>Column</i>	4	m
Massa Jenis Besi	7.8	ton/m <sup>3</sup>
Sarat Air	2.5	m
Berat <i>Equipment</i>	0.1	ton
Dimensi <i>Equipment</i>	2x2x1	m
Jumlah <i>Stiffener</i>	1	
Panjang <i>Stiffener</i>	4.55	m
Diameter <i>Stiffener</i>	0.33	m
Tebal <i>Stiffener</i>	0.006	m
Jumlah <i>Pontoon 1</i>	3	
Panjang <i>Pontoon 1</i>	1.807	m
Diameter <i>Pontoon 1</i>	0.33	m
Tebal <i>Pontoon 1</i>	0.006	m
Jumlah <i>Pontoon 2</i>	3	
Panjang <i>Pontoon 2</i>	3.50	m
Tinggi <i>Pontoon 2</i>	0.40	m
Lebar <i>Pontoon 2</i>	0.60	m
Tebal <i>Pontoon 2</i>	0.006	m
Jumlah <i>Pontoon 3</i>	3	
Panjang <i>Pontoon 3</i>	1.50	m
Tinggi <i>Pontoon 3</i>	0.40	m
Lebar <i>Pontoon 3</i>	0.60	m
Lebar Ujung <i>Pontoon 3</i>	0.40	m
Tebal <i>Pontoon 3</i>	0.006	m
Berat Turbin	0.38	ton



**Gambar 4.9** Bentuk 2D *Supporting Structure* PLTAL jenis TLP 3 Column



**Gambar 4.10** Bentuk 3D *Supporting Structure* PLTAL Jenis TLP 3 Column

#### **4.3.4 Center of Gravity dan Center of Buoyancy Struktur**

Perhitungan COG dibutuhkan untuk mengetahui stabilitas struktur. Kriteria utama TLP yang membedakan dengan struktur SPAR yang sama-sama menggunakan



bentuk *column* adalah untuk TLP titik COG gabungan berada diatas titik COB sedangkan struktur SPAR adalah sebaliknya yaitu titik COG berada dibawah titik COB.

**Tabel 4.9** *Center of Gravity TLP 3 Column*

No.	Nama Komponen	Berat (Ton)	Titik Berat Terhadap		
			<i>Midship X</i> (m)	<i>Center Line Y</i> (m)	<i>Keel</i> (m)
1	<i>Column Structure</i>	6,10	0,00	0,00	-0,65
2	<i>Pontoon &amp; Stiffener Structure</i>	1,98	0,00	0,00	0,53
3	<i>Deck, Equipment and Turbine Structure</i>	1,96	0,00	0,00	-2,12
COG Gabungan		10,034	0,00	0,00	-0,69

**Tabel 4.10** *Center of Buoyancy TLP 3 Column*

No.	Nama Komponen	Volume Tercelup (m <sup>3</sup> )	Titik Apung Terhadap		
			<i>Midship X</i> (m)	<i>Center Line Y</i> (m)	<i>Keel</i> (m)
1	<i>Column Structure</i>	9,95	0,00	0,00	0,68
2	<i>Pontoon &amp; Stiffener Structure</i>	0,21	0,00	0,00	-1,50
3	<i>Turbine Structure</i>	4,19	0,00	0,00	0,25
COB Gabungan		14,36	0,00	0,00	-2,02

Dari Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 dapat dilihat bahwa Titik COG struktur berada diatas Titik COB struktur karena nilainya yang lebih besar ketika diukur dari titik *keel*. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa desain struktur ini sudah memenuhi salah satu syarat karakteristik sebuah struktur jenis TLP yaitu titik COG berada diatas titik COB.

#### 4.3.5 Jari-jari Girasi Struktur

Perhitungan jari-jari girasi diawali dengan perhitungan momen inersia. Momen inersia tidak bisa didapatkan secara langsung karena bentuk struktur yang terlalu kompleks sehingga perlu dilakukan penyederhanaan menjadi beberapa bentuk antara lain struktur *column* dengan bentuk tabung berongga, struktur *pontoon*

dengan bentuk pipa panjang berongga, dan struktur *deck* dengan bentuk segitiga pipih. Semua elemen-elemen penyusun struktur tersebut dicari momen inersianya dengan menggunakan rumus dari tabel 2.1. Setelah melakukan perhitungan momen inersia untuk tiap elemen penyusun struktur maka selanjutnya seluruh momen inersia disatukan menjadi momen inertia gabungan yang merupakan momen inersia *supporting structure* PLTAL. Dari perhitungan momen inersia dan massa struktur yang telah diketahui sebelumnya kemudian dilakukan perhitungan jari-jari girasi dengan menggunakan persamaan 2.3 sehingga akhirnya didapatkan kesimpulan untuk perhitungan jari-jari girasi masing-masing sumbu x, y dan z sesuai dengan tabel 4.11 dibawah ini.

**Tabel 4.11** Jari-jari Girasi TLP 3 *Column*

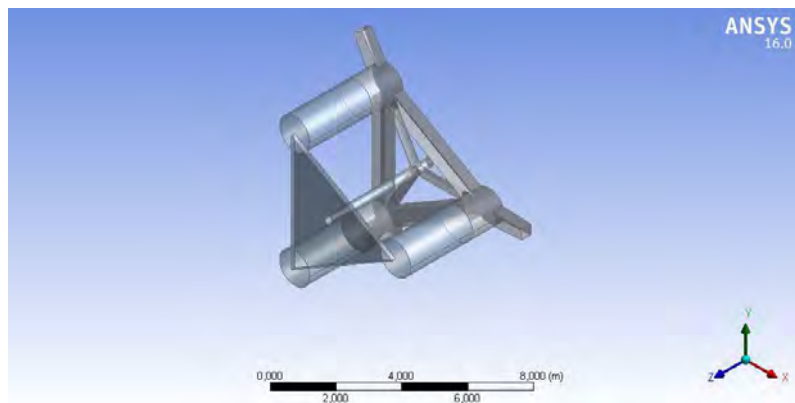
No.	Nama Komponen	Berat (Ton)	Global Inertia		
			Total Inertia Ixx	Total Inertia Iyy	Total Inertia Izz
1	<i>Column Structure</i>	6,10	36,739	36,740	53,080
2	<i>Pontoon &amp; Stiffener Structure</i>	1,98	10.373	10.328	10.494
3	<i>Deck, Equipment and Turbine Structure</i>	1,96	30.223	30.206	4.443
Inertia Gabungan		10,034	77,335	77,274	67,007
Jari-jari Girasi Gabungan			Kxx: 2,776	Kyy: 2,775	Kzz: 2,584

Dari tabel 4.11 terlihat bahwa nilai Kxx dan Kyy yang merupakan jari-jari girasi pada sumbu x dan sumbu y memiliki nilai yang hampir sama. Hal ini terjadi karena faktor sumbu yang memiliki proporsi pembagian struktur yang hampir sama pula sehingga nilai jari-jari girasi pada sumbu tersebut juga memiliki nilai yang hamper sama.

#### **4.4 Pemodelan Struktur pada *Software* ANSYS**

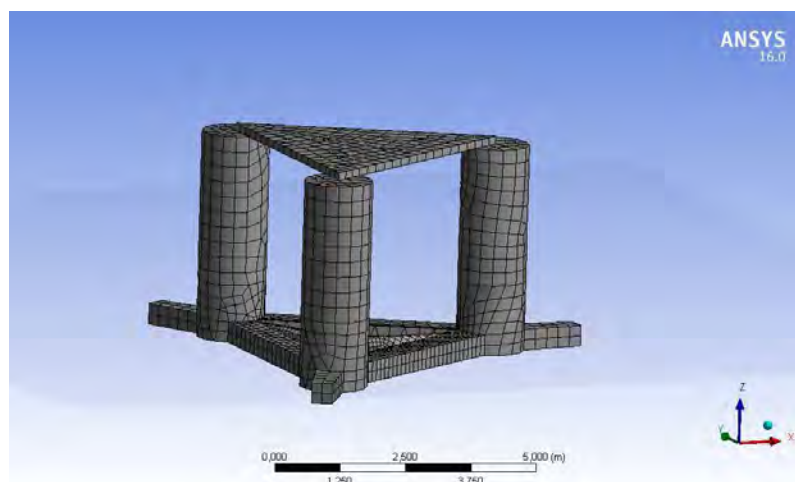
Langkah awal yaitu melakukan pemodelan. Pemodelan untuk *software* ANSYS menggunakan model dari *software* AutoCAD yang diimport ke *software* ANSYS. Perlu ditekankan disini bahwa model untuk *running* di ANSYS AQWA mengabaikan jenis material struktur yang digunakan dan hanya berfokus pada bentuk geometri luar struktur. Dalam memodelkan pada *software* AutoCAD juga

perlu diperhatikan titik 0,0,0 harus berada pada garis sarat air agar nantinya ketika dilakukan *import* ke *software* ANSYS AQWA tidak terjadi *error* yang berlebihan.



**Gambar 4.11** Hasil *Import* Model Struktur pada *Software* ANSYS

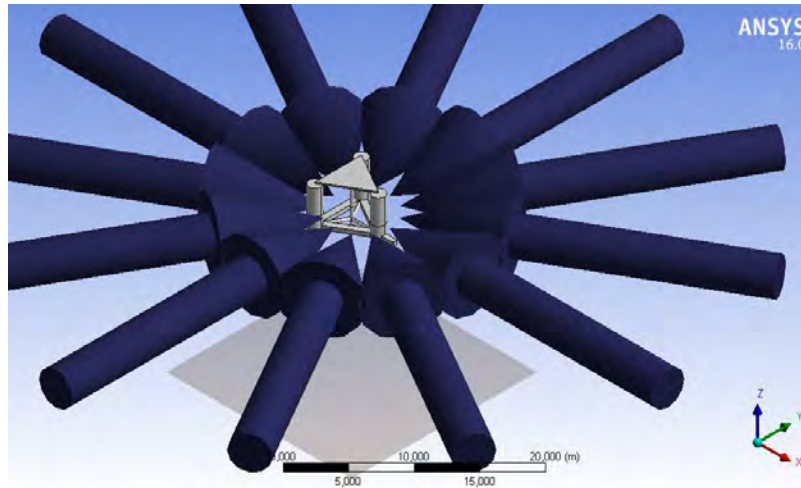
Setelah dilakukan pemodelan kemudian dilakukan *slice* untuk memisahkan antara bagian *draft* dan bagian *free board*. Jika tidak ada *error* maka proses dilanjutkan ketahap memasukkan kedalaman perairan yaitu 15,5 m, massa struktur yaitu 10034 kg, *center of gravity* dan jari-jari girasi struktur untuk detail massa keseluruhan struktur dengan menggunakan data dari hasil perhitungan sebelumnya. Titik *buoyancy* serta volume displasemen juga perlu dimasukkan sebelum berlanjut ketahap berikutnya. Dan tahap terakhir sebelum dilakukan *running* adalah melakukan *meshing* struktur dengan *defeaturing element* sebesar 0,1 m dan *max element size* sebesar 0,5 m



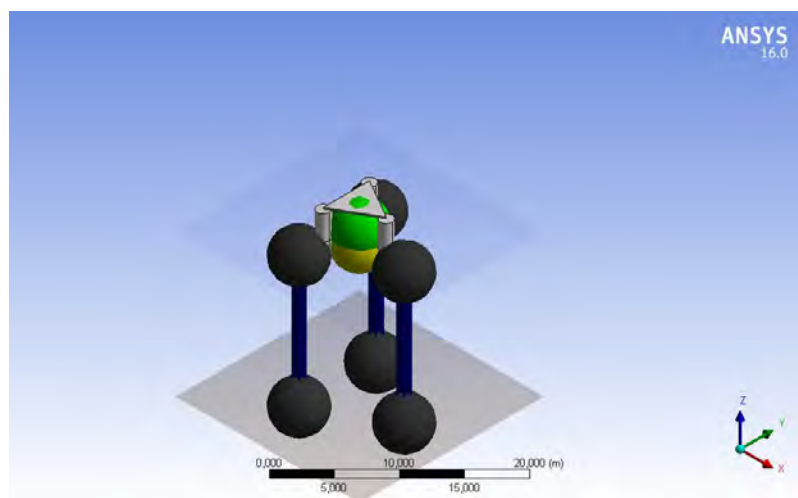
**Gambar 4.12** Hasil *Meshing* Model Struktur pada *Software* ANSYS

Arah pembebanan gelombang regular digunakan tiap 30° agar didapatkan hasil yang benar-benar *representative* dengan respon gerak struktur secara keseluruhan.

Selanjutnya yaitu memasukkan pilihan mode gerakan untuk masing-masing arah pembebanan, untuk analisa kondisi *free floating* digunakan 3 mode gerakan yaitu *heave*, *roll* dan *pitch*.



**Gambar 4.13** Pembebanan Gelombang Reguler pada *Software* ANSYS AQWA  
Setelah melakukan perhitungan RAO untuk kondisi *free floating* maka dilanjutkan dengan perhitungan RAO untuk kondisi tertambat dengan menambahkan tendon atau tali tambat sebanyak 3 buah yang masing-masing ditempatkan diujung *pontoon* 3 dan dasar laut. Nilai kekakuan yang dimasukkan untuk masing-masing tendon adalah sebesar 1176 N/m sesuai dengan perhitungan sebelumnya. Dapat dilihat pada Gambar 4.14 bahwa titik bola hijau yang mewakili COG struktur berada diatas titik bola kuning yang mewakili COB struktur maka dapat disimpulkan pemodelan sudah sesuai dengan kriteria TLP yaitu nilai COG struktur berada diatas nilai COB struktur.

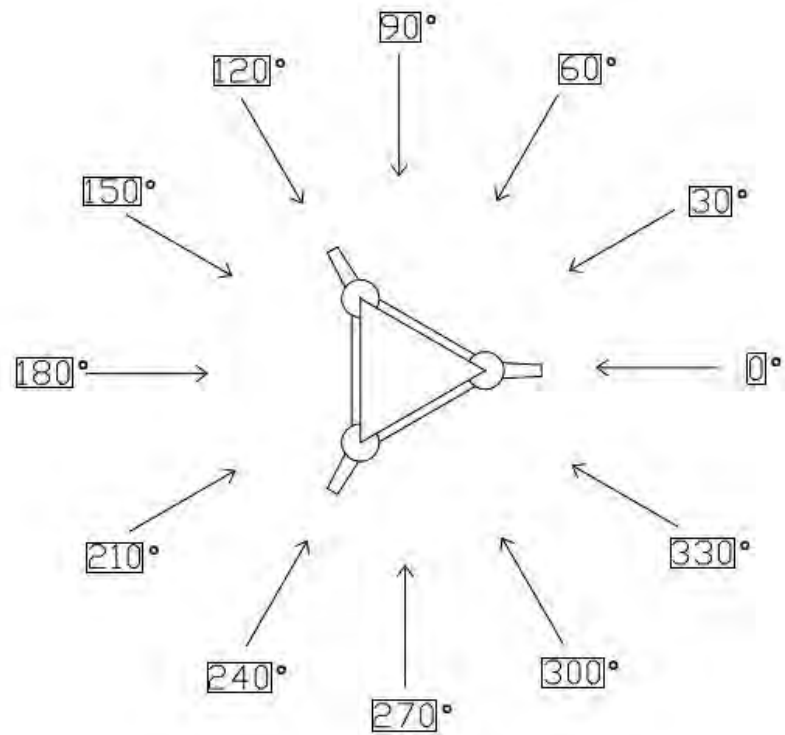


**Gambar 4.14** Pemodelan Struktur dengan Tali Tambat

Step terakhir yaitu *merunning* model dengan tali tambat untuk mendapatkan RAO pada gelombang regular kondisi tertambat.

#### 4.5 Arah Pembebanan Gelombang pada Struktur

Dalam analisa respon gerak struktur pada gelombang regular maka beban yang bekerja adalah berat struktur itu sendiri yang diwakili oleh total massa dan juga gelombang regular dengan tinggi gelombang sebesar 2 m atau amplitudo gelombang sebesar 1 m. Arah datang gelombang adalah setiap interval  $30^\circ$  ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $210^\circ$ ,  $240^\circ$ ,  $270^\circ$ ,  $300^\circ$ ,  $330^\circ$  dan  $360^\circ$ ) karena struktur tidak simetris sempurna. Variasi frekuensi gelombang yang digunakan adalah sebanyak 20 variasi dengan interval sebesar 0,29 rad/s.



**Gambar 4.15** Arah Pembebanan Gelombang

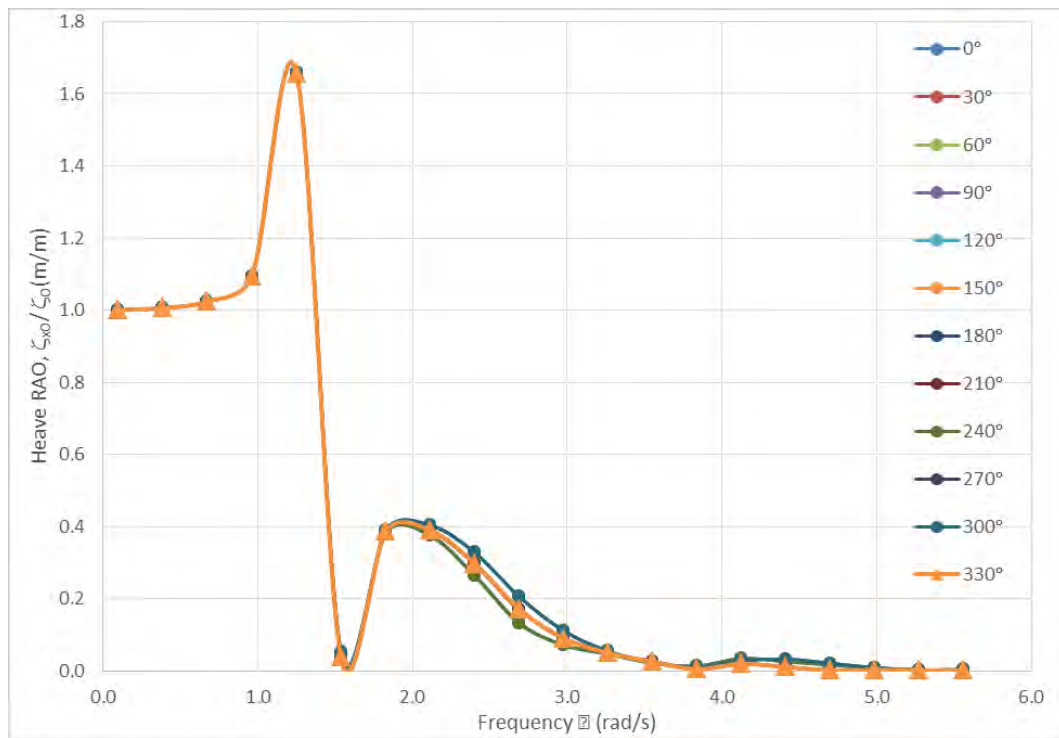
#### 4.6 Analisa Respon Gerak Struktur pada Gelombang Regular Kondisi *Free Floating*

Analisa dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* ANSYS yang dapat menghasilkan RAO *motion* struktur pada kondisi *free floating* akibat pengaruh gelombang regular. *Heading* pembebanan gelombang yaitu setiap perubahan sudut sebesar  $30^\circ$  ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $210^\circ$ ,  $240^\circ$ ,  $270^\circ$ ,  $300^\circ$  dan  $360^\circ$ ).

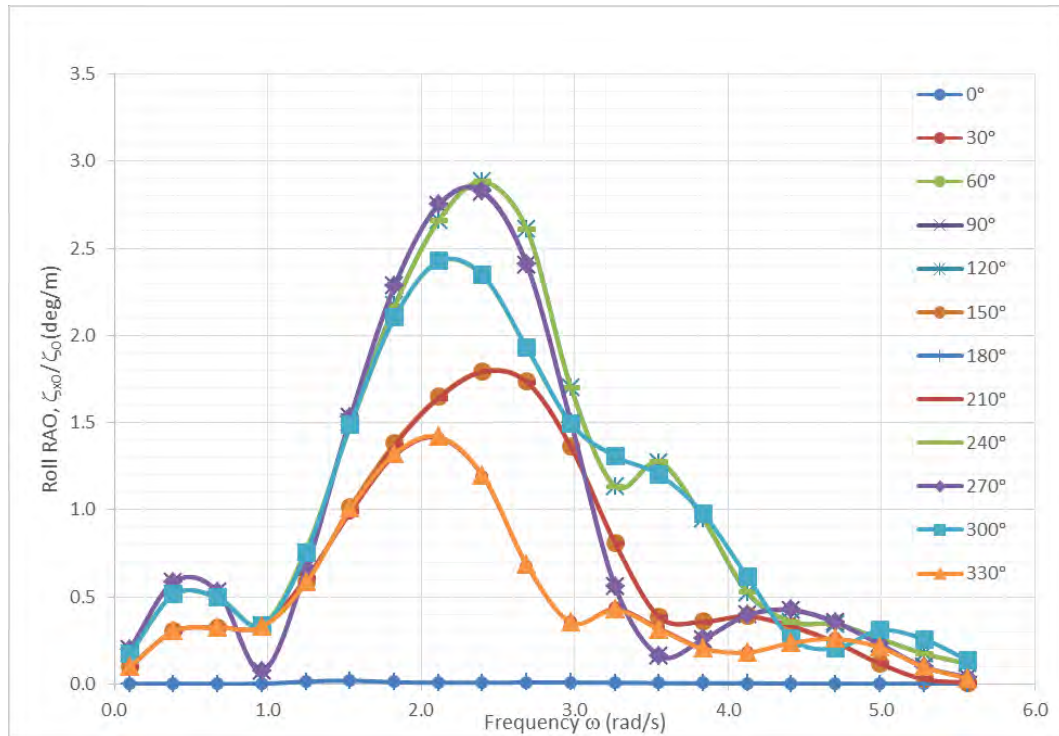
330<sup>0</sup>). Pada kondisi *free floating* sarat air yang digunakan yaitu 1,352 m hal ini dikarenakan struktur belum dikenakan gaya tendon. Respon gerak kondisi *free floating* hanya dianalisis pada mode gerak yang paling dominan terjadi yaitu gerakan *heave*, *roll*, dan *pitch* untuk setiap arah pembebanan gelombang.

#### 4.6.1 Response Amplitude Operator (RAO) pada Kondisi Free Floating

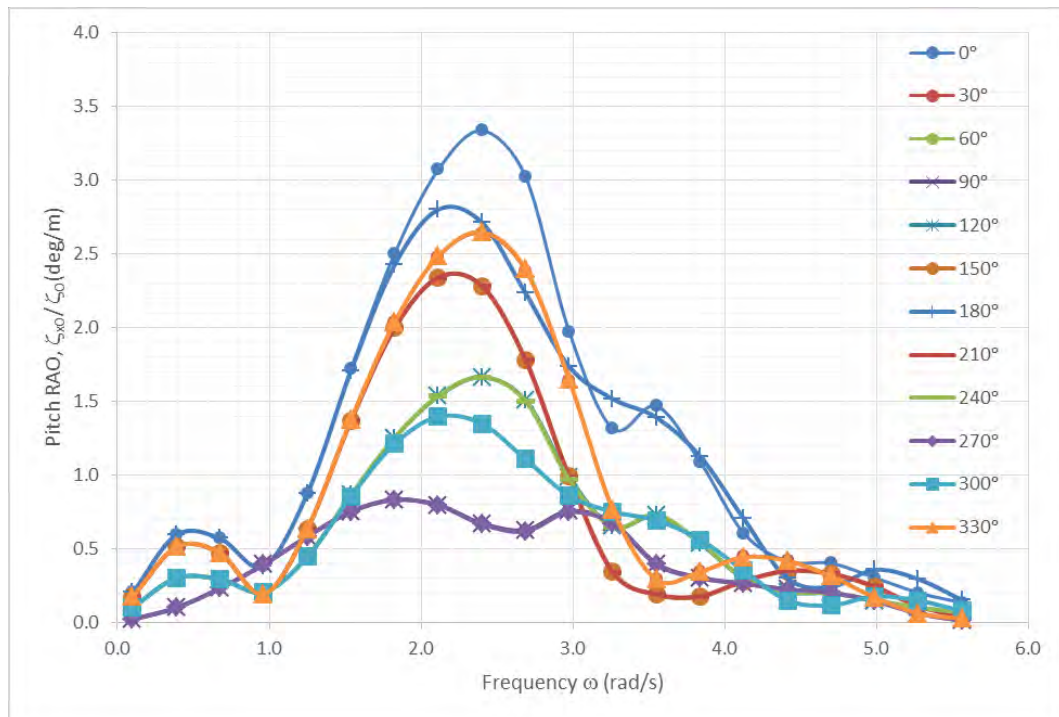
Grafik RAO didapatkan dari hasil *running software* ANSYS dengan beberapa kriteria yang telah ditentukan. Grafik dimulai dengan nilai frekuensi gelombang 0.1 rad/sec. Berikut merupakan grafik RAO dari semua arah pembebanan untuk kondisi *free floating* yang telah disatukan untuk setiap mode gerakan *heave*, *roll* dan *pitch*.



**Gambar 4.16** Grafik RAO Gerakan *Heave* Kondisi *Free Floating*



**Gambar 4.17** Grafik RAO Gerakan *Roll* Kondisi *Free Floating*



**Gambar 4.18** Grafik RAO Gerakan *Pitch* Kondisi *Free Floating*

Pada Gambar 4.16 dapat dilihat grafik RAO untuk mode gerakan *heave* dimana grafik dimulai pada frekuensi rendah memiliki nilai RAO sebesar kurang lebih 1



yaitu sesuai dengan kondisi *platforming*. Kemudian grafik dilanjutkan dengan kenaikan nilai RAO yang sangat tajam menuju daerah resonansi pada frekuensi alami *heave* yaitu sebesar 1,25 rad/s atau periode alami *heave* sebesar 5,023 s dengan nilai RAO *heave* tertinggi yaitu sebesar 1,656 m/m untuk semua arah datang gelombang. Setelah melewati daerah resonansi selanjutnya grafik mengalami penurunan yang sangat signifikan menuju nilai mendekati 0 pada frekuensi 1,54 rad/s kemudian mengalami kenaikan yang cukup tajam kembali pada frekuensi 1,83 rad/s dan kembali mengalami penurunan secara perlahan menuju nilai RAO yang mendekati 0 m/m. Dari Gambar terlihat bahwa nilai RAO *heave* untuk semua arah datang gelombang mempunyai nilai yang hampir sama di setiap frekuensi kecuali pada frekuensi 2,4 keatas. Hal ini terjadi karena struktur TLP yang memiliki konfigurasi simetris 120° dan nilai panjang serta lebar cenderung tidak terlalu berbeda jauh.

Untuk grafik gerakan *roll* dari TLP dapat dilihat pada Gambar 4.17 dimana frekuensi natural gerakan *roll* memiliki nilai 2,40 rad/s atau nilai periode natural sebesar 2,62 s dengan nilai RAO tertinggi yaitu ketika struktur terkena pembebanan gelombang dari arah 120° dan 240° yaitu sebesar 2,88 deg/m. Untuk arah datang gelombang dari 0° dan 180° RAO memiliki nilai mendekati 0 deg/m karena arah gelombang ini sejajar dengan sumbu x dan sumbu simetri struktur sehingga tidak menimbulkan gerakan *roll* yang berarti pada struktur.

Grafik gerakan *pitch* dari *supporting structure* jenis TLP dapat dilihat pada Gambar 4.18 dimana frekuensi natural gerakan *pitch* memiliki nilai 2,40 rad/s atau nilai periode natural sebesar 2,62 s dengan nilai RAO tertinggi yaitu ketika struktur terkena pembebanan gelombang dari arah 0° yaitu sebesar 3,34 deg/m. Grafik gerakan *pitch* memiliki karakteristik yang mirip dengan grafik gerakan *roll* karena dipengaruhi oleh bentuk struktur yang memiliki konfigurasi simetris 120°. Dari data hasil perhitungan maka dapat dibuat Tabel yang menyajikan RAO maksimum untuk masing-masing mode gerakan tiap arah pembebanan gelombang.



**Tabel 4.12** Nilai Maksimum RAO Struktur Kondisi *Free Floating*

No	Sudut Datang Gelombang	Heave (m/m)	Roll (deg/m)	Pitch (deg/m)
1	0 <sup>0</sup>	1,656	0,020	3,338
2	30 <sup>0</sup>	1,656	1,410	2,640
3	60 <sup>0</sup>	1,656	2,419	1,396
4	90 <sup>0</sup>	1,656	2,822	0,833
5	120 <sup>0</sup>	1,656	2,884	1,664
6	150 <sup>0</sup>	1,656	1,642	2,341
7	180 <sup>0</sup>	1,656	0,020	2,802
8	210 <sup>0</sup>	1,656	1,790	2,341
9	240 <sup>0</sup>	1,656	2,883	1,666
10	270 <sup>0</sup>	1,656	2,828	0,833
11	300 <sup>0</sup>	1,656	2,425	1,397
12	330 <sup>0</sup>	1,656	2,419	2,649
Maksimal		1,656	2,884	3,338

#### 4.6.2 Validasi nilai RAO pada Kondisi *Free Floating*

Validasi dilakukan dengan membandingkan nilai frekuensi natural gelombang yang didapatkan dari hasil perhitungan *software* ANSYS AQWA dengan hasil perhitungan numerik. Didapatkan hasil bahwa perhitungan numerik frekuensi natural struktur berada *dirange* nilai frekuensi natural gelombang dimana nilai RAO mengalami penambahan yang sangat tajam. Sehingga bisa disimpulkan bahwa kenaikan nilai RAO yang cukup tajam tersebut adalah karena adanya resonansi frekuensi natural struktur dengan frekuensi gelombang:

**Tabel 4.13** Validasi Nilai RAO

Hasil Perhitungan	Frekuensi Natural (rad/s)		
ANSYS AQWA	1,25 - 1,54	2,11 - 2,40	2,11 - 2,40
Numerik	1,54	2,39	2,40
Keterangan	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

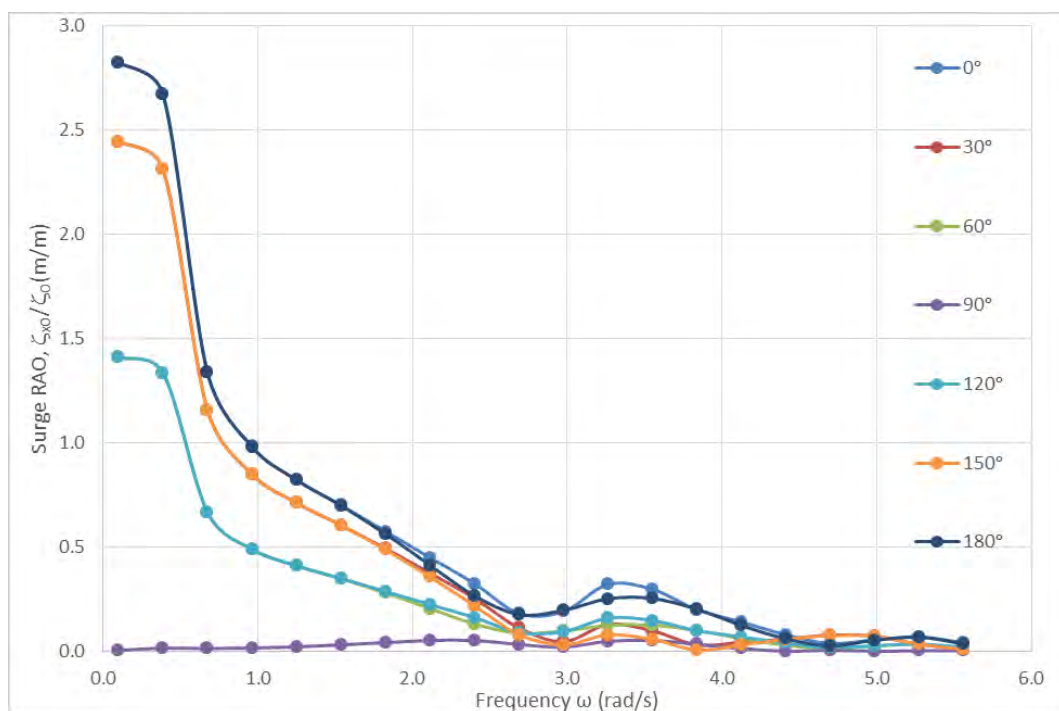
#### 4.7 Analisa Respon Gerak Struktur pada Gelombang Reguler Kondisi Tertambat

Analisa dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* ANSYS AQWA yang dapat menghasilkan RAO *motion* struktur pada kondisi tertambat akibat pengaruh gelombang reguler. *Heading* pembebanan gelombang yaitu setiap perubahan sudut sebesar 30<sup>0</sup> (0<sup>0</sup>, 30<sup>0</sup>, 60<sup>0</sup>, 90<sup>0</sup>, 120<sup>0</sup>, 150<sup>0</sup>, dan 180<sup>0</sup>). Total arah pembebanan

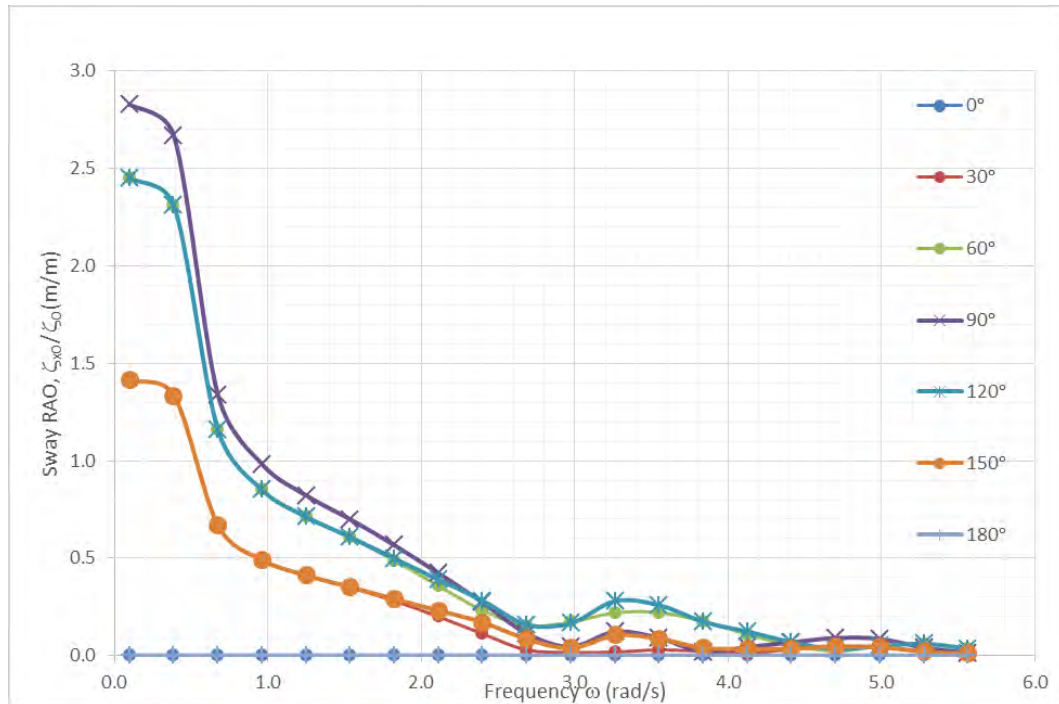
tidak berjumlah 12 seperti pada kondisi *free floating* karena dari hasil RAO kondisi *free floating* diketahui bahwa beberapa arah pembebanan mempunyai nilai yang sama dengan arah lainnya sehingga pada analisa RAO kondisi tertambat beberapa arah dapat dihilangkan dan diwakilkan oleh arah lainnya. Pada kondisi tertambat sarat air yang digunakan yaitu 2,5 m hal ini dikarenakan struktur sudah dikenakan gaya tendon sehingga sarat air mengalami penambahan. Analisis respon gerak kondisi tertambat dilakukan pada semua mode gerak yaitu *sway*, *surge*, *heave*, *roll*, *pitch*, dan *yaw* untuk setiap arah pembebanan gelombang.

#### 4.7.1 Response Amplitude Operator (RAO) pada Kondisi Tertambat

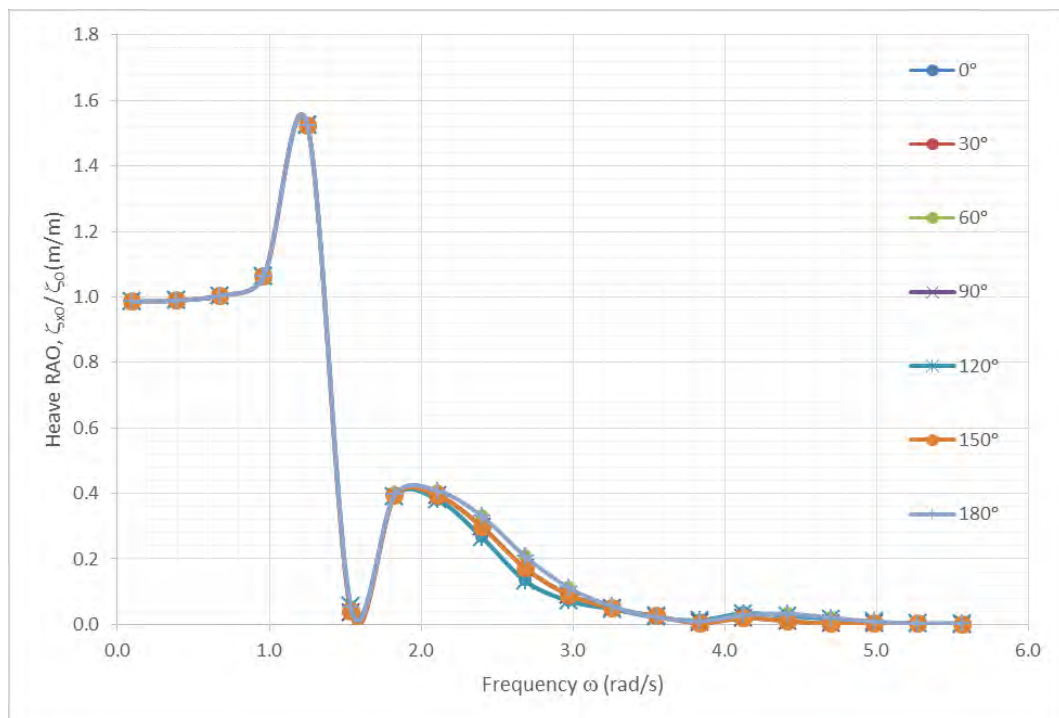
Grafik RAO didapatkan dari hasil *running software* ANSYS dengan beberapa kriteria yang telah ditentukan. Grafik dimulai dengan nilai frekuensi gelombang 0.1 rad/sec. Berikut merupakan grafik RAO dari semua arah pembebanan pada kondisi tertambat yang telah disatukan untuk setiap mode gerakan *sway*, *surge*, *heave*, *roll*, *pitch*, dan *yaw*



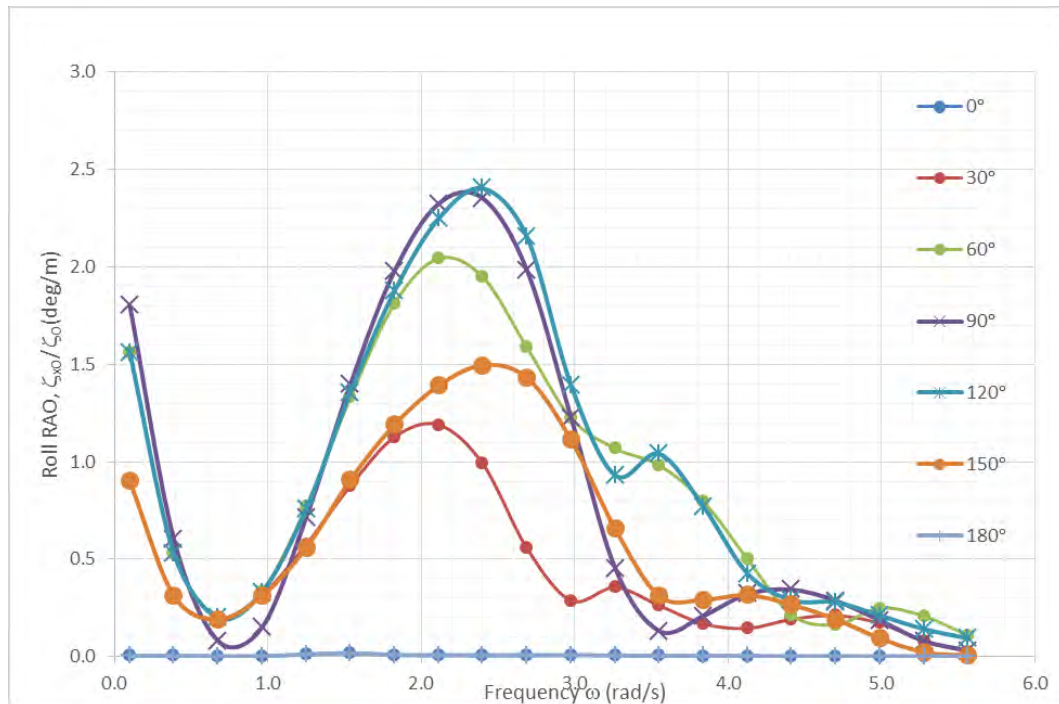
**Gambar 4.19** Grafik RAO Gerakan *Surge* Kondisi Tertambat



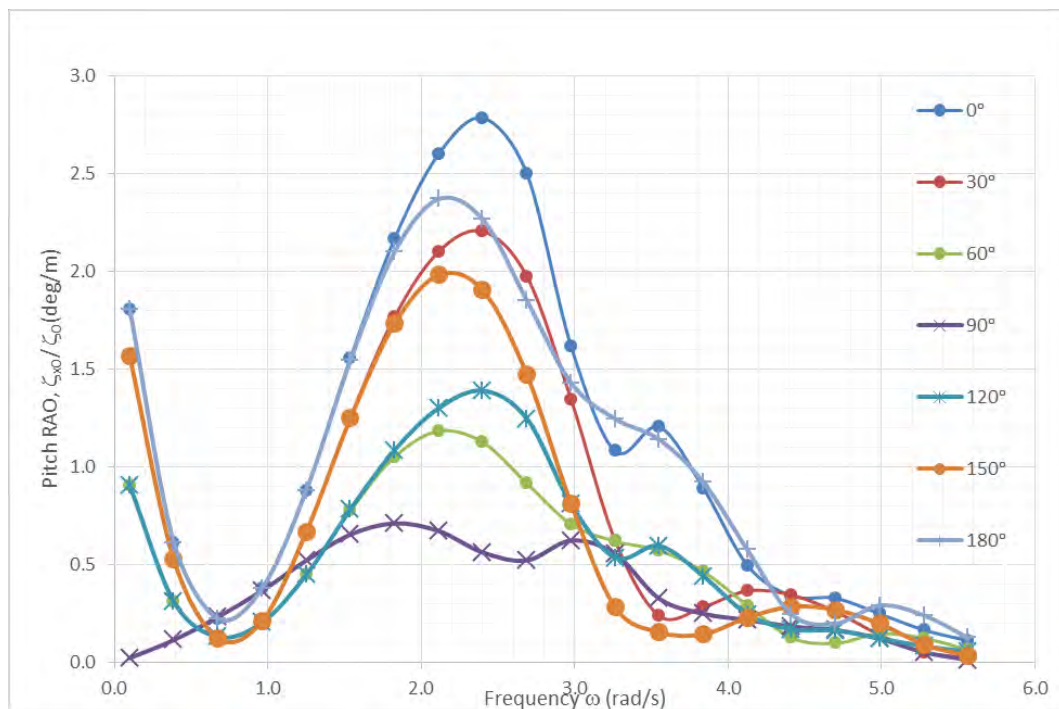
**Gambar 4.20** Grafik RAO Gerakan *Sway* Kondisi Tertambat



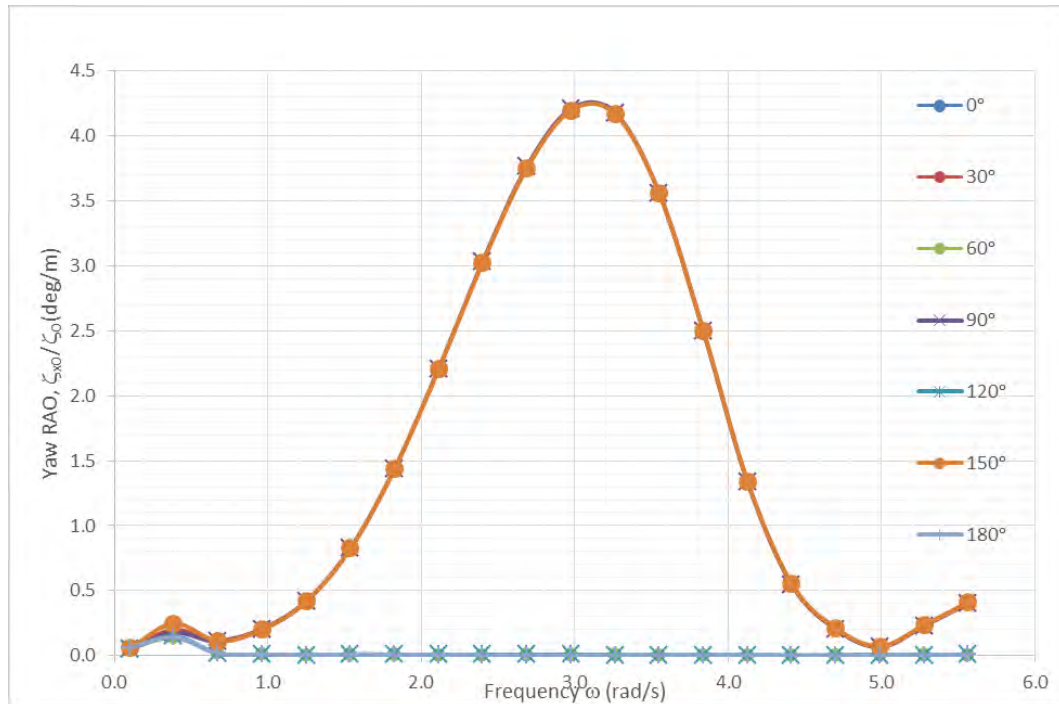
**Gambar 4.21** Grafik RAO Gerakan *Heave* Kondisi Tertambat



**Gambar 4.22** Grafik RAO Gerakan *Roll* Kondisi Tertambat



**Gambar 4.23** Grafik RAO Gerakan *Pitch* Kondisi Tertambat



**Gambar 4.24** Grafik RAO Gerakan *Yaw* Kondisi Tertambat

Mode gerakan *surge* sesuai dengan Gambar 4.19 dimana gerakan didominasi oleh arah gelombang dari depan dan belakang atau pada arah pembebanan  $0^\circ$  dan  $180^\circ$ . Sedangkan untuk arah pembebanan  $90^\circ$  tidak memberikan pengaruh yang cukup berarti atau bahkan memiliki nilai yang cenderung mendekati 0.

Untuk mode gerakan *sway* sesuai dengan Gambar 4.20 gerakan didominasi oleh arah gelombang dari samping atau pada arah pembebanan  $90^\circ$ . Sedangkan untuk arah pembebanan  $0^\circ$  dan  $180^\circ$  tidak memberikan pengaruh yang cukup berarti atau bahkan memiliki nilai yang cenderung mendekati 0.

Pada Gambar 4.21 dapat dilihat grafik RAO untuk mode gerakan *heave* dimana secara keseluruhan pola grafik hampir sama dengan RAO kondisi *free floating*. grafik dimulai pada frekuensi rendah memiliki nilai RAO sebesar kurang lebih 1 yaitu sesuai dengan kondisi *platforming*. Kemudian grafik dilanjutkan dengan kenaikan nilai RAO yang sangat tajam menuju daerah resonansi pada frekuensi alami *heave* yaitu sebesar 1,25 rad/s atau periode alami *heave* sebesar 5,0 s dengan nilai RAO *heave* tertinggi yaitu sebesar 1,53 m/m untuk semua arah datang gelombang. Nilai *heave* RAO kondisi tertambat lebih kecil dibandingkan

dengan nilai RAO kondisi *free floating* hal ini karena adanya pengaruh dari tali tambat atau tendon. Setelah melewati daerah resonansi selanjutnya grafik mengalami penurunan yang sangat signifikan menuju nilai mendekati 0 pada frekuensi 1,54 rad/s kemudian mengalami kenaikan yang cukup tajam kembali pada frekuensi 1,83 rad/s dan kembali mengalami penurunan secara perlahan menuju nilai RAO yang mendekati 0 m/m.

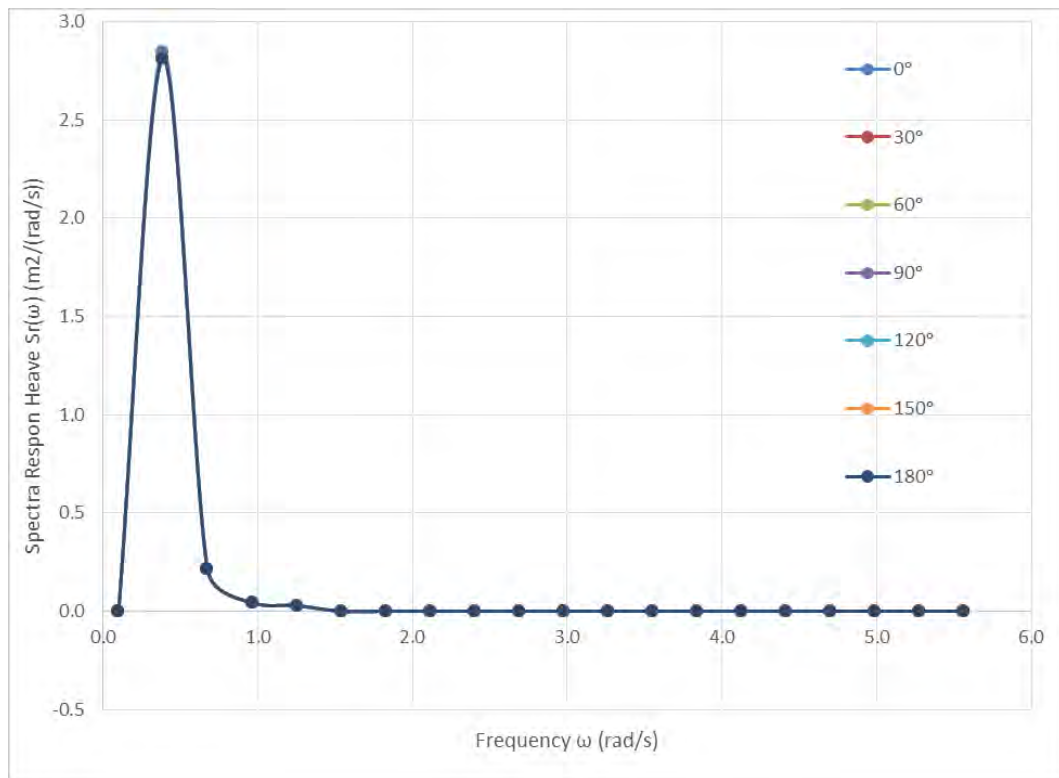
Untuk grafik gerakan *roll* kondisi tertambat dari TLP dapat dilihat pada Gambar 4.22 dimana frekuensi natural gerakan *roll* memiliki nilai 2,40 rad/s atau nilai periode natural sebesar 2,62 s dengan nilai RAO tertinggi yaitu ketika struktur terkena pembebanan gelombang dari arah 120° yaitu sebesar 2,40 deg/m. Nilai periode natural sudah sesuai dengan DNV yaitu kurang dari 5. Untuk arah datang gelombang dari 0° dan 180° RAO memiliki nilai mendekati 0 deg/m karena arah gelombang ini sejajar dengan sumbu x dan sumbu simetri struktur sehingga tidak menimbulkan gerakan *roll* yang cukup berarti pada struktur.

Grafik gerakan *pitch* kondisi tertambat dari *supporting structure* jenis TLP dapat dilihat pada Gambar 4.23 dimana frekuensi natural gerakan *pitch* memiliki nilai 2,40 rad/s atau nilai periode natural sebesar 2,62 s dengan nilai RAO tertinggi yaitu ketika struktur terkena arah pembebanan gelombang dari 0° yaitu sebesar 2,78 deg/m. Nilai periode natural sudah sesuai dengan DNV yaitu kurang dari 5. Grafik gerakan *pitch* memiliki karakteristik yang mirip dengan grafik gerakan *roll* karena dipengaruhi oleh bentuk struktur yang memiliki konfigurasi simetris 120°.

Pada mode gerakan *yaw* yang disajikan di Gambar 4.24 terlihat bahwa hanya pembebanan gelombang dari arah 30°, 90°, dan 150° yang memberikan pengaruh pada respon gerak struktur dengan nilai RAO tertinggi yaitu sebesar 4,21 untuk ketiga arah pembebanan gelombang tersebut. Sedangkan untuk arah pembebanan 0°, 60°, 120°, dan 180° tidak menimbulkan gerakan yang berarti pada struktur karena arahnya yang sejajar dengan sumbu simetris struktur.

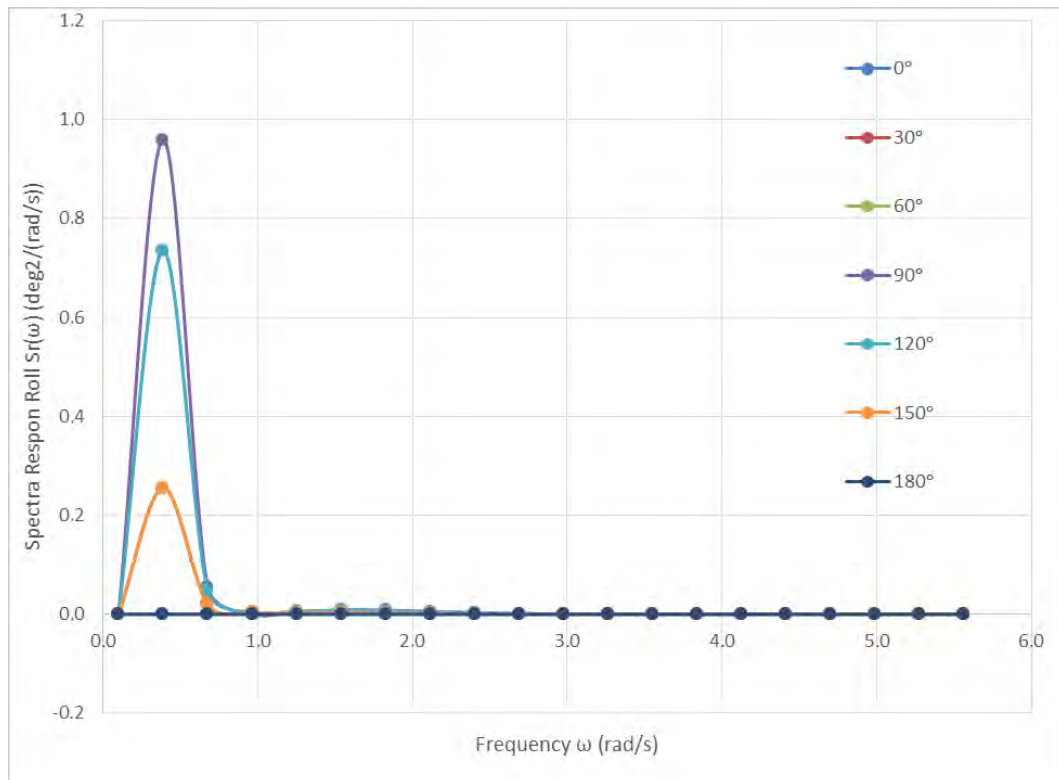
#### 4.8 Analisa Respon Spektra Struktur pada Gelombang Irregular Kondisi *Free Floating*

Analisa respon spektra kondisi *free floating* perlu dilakukan karena untuk mengetahui respon gerak secara real tidak bisa hanya dilihat dari RAO. Analisa ini dilakukan dalam kondisi ekstrim sehingga diperlukan data lingkungan gelombang 100 tahunan dan data arus laut 10 tahunan. Spektrum gelombang yang digunakan adalah spektrum gelombang JONSWAP dikarenakan letak struktur yang berada diperairan tertutup. Nilai  $\gamma$  yang digunakan yaitu 2,5 karena untuk perairan di wilayah Indonesia biasanya digunakan nilai  $\gamma$  dengan rentang 2,0-2,5. Untuk arah pembebanan gelombang digunakan 7 arah yang berbeda yaitu  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$ , dan  $180^\circ$ .

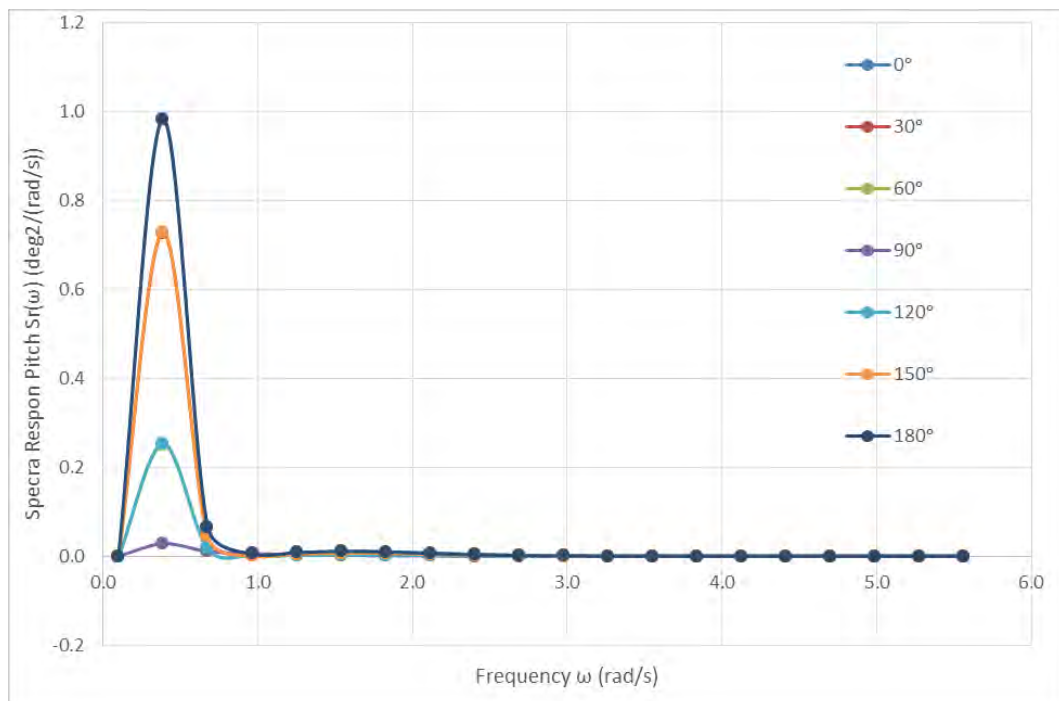


**Gambar 4.25** Respon Spektra Gerakan *Heave* Kondisi *Free Floating*





**Gambar 4.26** Respon Spektra Gerakan *Roll* Kondisi *Free Floating*



**Gambar 4.27** Respon Spektra Gerakan *Pitch* Kondisi *Free Floating*

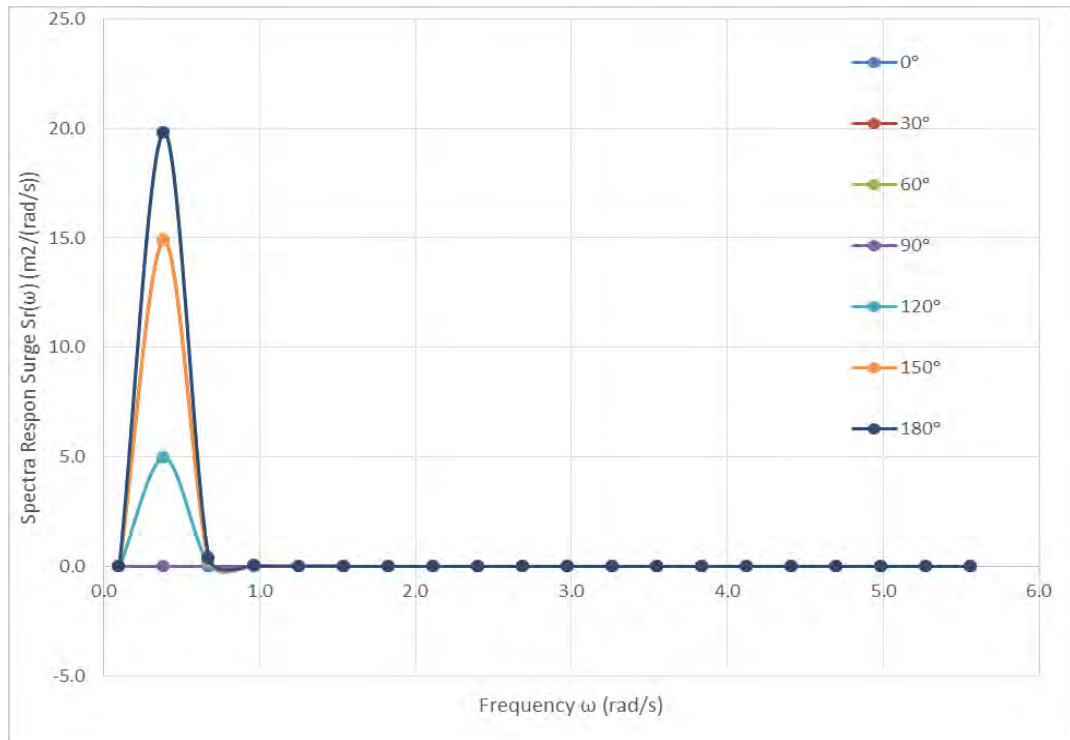
Dari beberapa grafik respon spektra untuk gerakan *heave*, *roll* dan *pitch* terdapat persamaan karakteristik yang cukup mencolok yaitu puncak grafik respon spektra



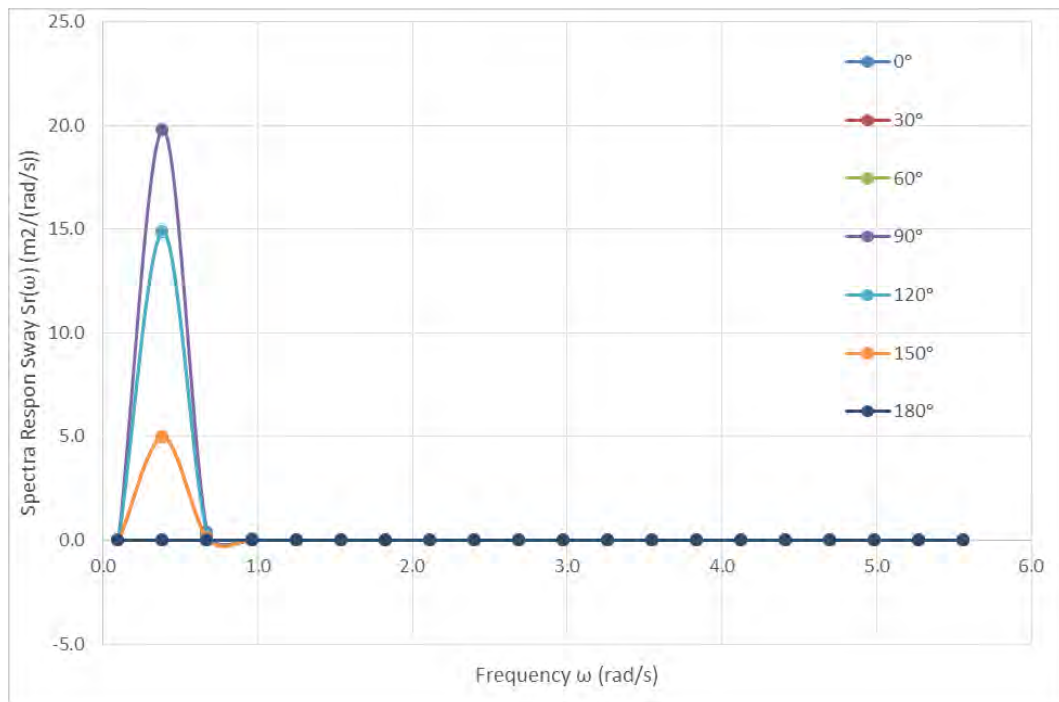
terjadi pada frekuensi 0,39 rad/s. Nilai respon spektra terbesar untuk gerakan *heave* terjadi ketika struktur berpropagasi dengan gelombang dari semua arah yaitu sebesar  $2,81 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$ . Nilai respon spektra terbesar untuk gerakan *roll* terjadi ketika struktur berpropagasi dengan gelombang dari arah  $90^\circ$  yaitu sebesar  $0,96 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$ . Sedangkan nilai respon spektra terbesar untuk gerakan *pitch* terjadi ketika struktur berpropagasi dengan gelombang dari arah  $180^\circ$  yaitu sebesar  $0,98 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$ . Secara keseluruhan respon spektra struktur kondisi *free floating* lebih didominasi oleh spektrum gelombang dibandingkan dengan RAO. Dari perbandingan grafik RAO dan grafik spektra respon terlihat bahwa untuk ketiga mode gerakan yaitu *heave*, *roll*, dan *pitch* jarak antar puncak grafik cukup jauh. Hal ini mengindikasikan bahwa bentuk struktur sudah cukup baik untuk ditempatkan di wilayah perairan Selat Alas karena frekuensi alami gerakan struktur tidak beresonansi dengan frekuensi puncak spektra sehingga respon struktur yang berlebihan dapat dihindari.

#### **4.9 Analisa Respon Spektra Struktur pada Gelombang Irreguler Kondisi Tertambat**

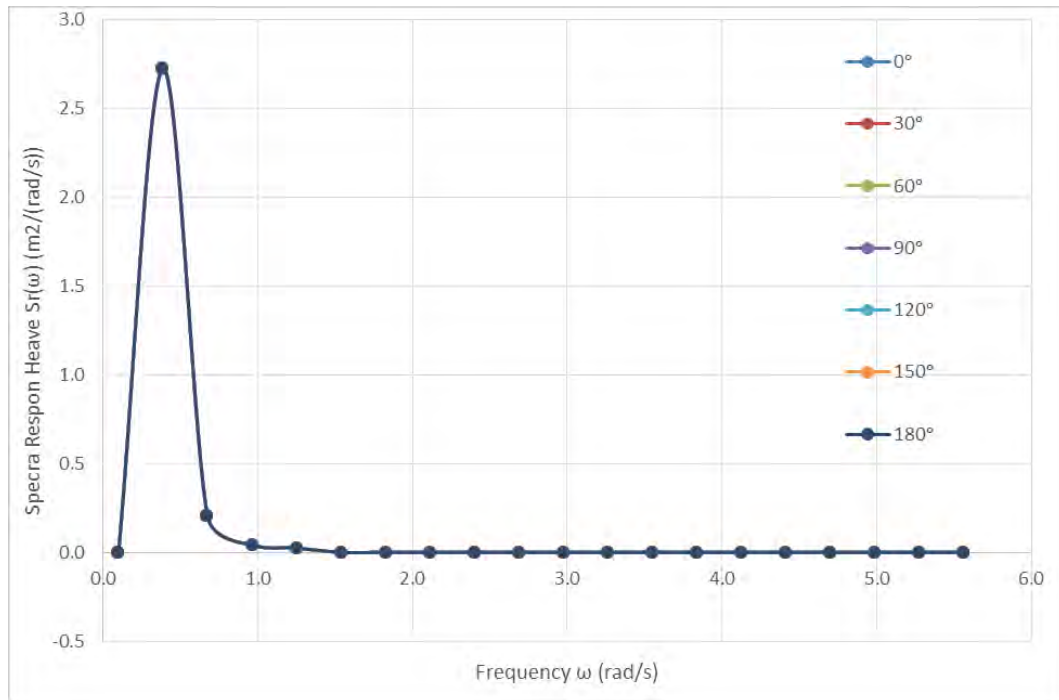
Karena nantinya ketika beroperasi struktur ini berada dalam kondisi tertambat maka perlu dilakukan analisa respon spektra struktur pada kondisi tertambat untuk mendapatkan respon struktur yang benar-benar *representative*. Analisa respon spektra ini dilakukan dalam kondisi ekstrim sehingga diperlukan data lingkungan gelombang 100 tahunan dan data arus laut 10 tahunan. Seperti halnya dengan kondisi *free floating*, untuk kondisi tertambat spektrum gelombang yang digunakan adalah spektrum gelombang JONSWAP. Sedangkan arah pembebanan gelombang yang digunakan adalah 7 arah yang berbeda ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$ , dan  $180^\circ$ ).



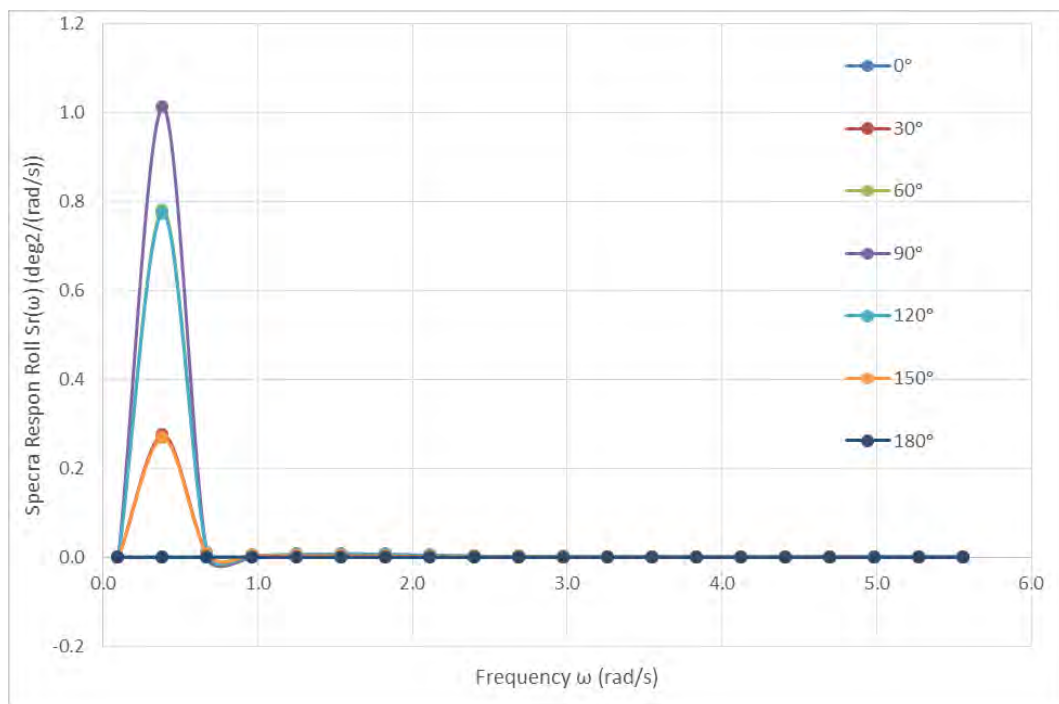
**Gambar 4.28** Respon Spektra Gerakan *Surge* Kondisi Tertambat



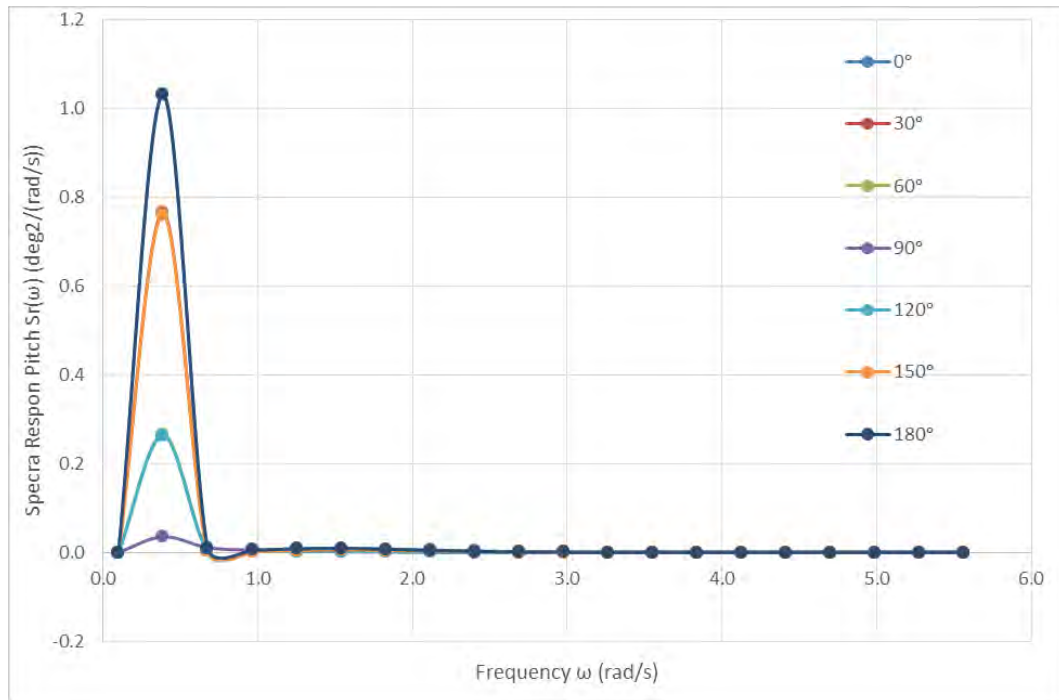
**Gambar 4.29** Respon Spektra Gerakan *Sway* Kondisi Tertambat



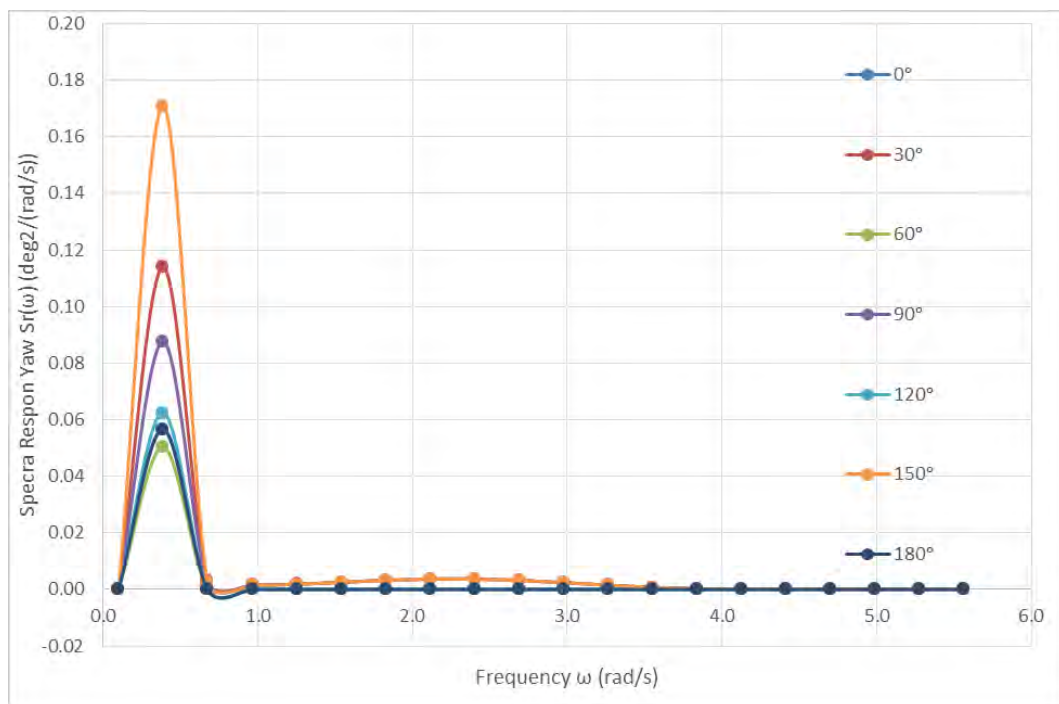
**Gambar 4.30** Respon Spektra Gerakan *Heave* Kondisi Tertambat



**Gambar 4.31** Respon Spektra Gerakan *Roll* Kondisi Tertambat



**Gambar 4.32** Respon Spektra Gerakan *Pitch* Kondisi Tertambat



**Gambar 4.33** Respon Spektra Gerakan *Yaw* Kondisi Tertambat

Dari semua grafik respon spektra untuk gerakan *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch*, dan *yaw* terdapat persamaan karakteristik pola grafik yaitu puncak grafik respon spektra terjadi pada frekuensi 0,39 rad/s. Nilai respon spektra terbesar untuk

gerakan *surge* terjadi ketika struktur berpropagasi dengan gelombang dari arah  $0^\circ$  dan  $180^\circ$  yaitu sebesar  $19,81 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$ . Untuk gerakan *sway* nilai respon spektra terbesar terjadi ketika struktur berpropagasi dengan gelombang dari arah  $90^\circ$  yaitu sebesar  $19,79 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$ . Kemudian nilai respon spektra terbesar untuk gerakan *heave* terjadi ketika struktur berpropagasi dengan gelombang dari semua arah yaitu sebesar  $2,72 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$ . Untuk gerakan *roll* nilai respon spektra terbesar terjadi ketika struktur berpropagasi dengan gelombang dari arah  $90^\circ$  yaitu sebesar  $1,01 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$ . Sedangkan nilai respon spektra terbesar untuk gerakan *pitch* terjadi ketika struktur berpropagasi dengan gelombang dari arah  $0^\circ$  dan  $180^\circ$  yaitu sebesar  $1,03 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$ . Dan yang terakhir nilai respon spektra terbesar untuk gerakan *yaw* terjadi ketika struktur berpropagasi dengan gelombang dari arah  $150^\circ$  yaitu sebesar  $0,17 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$ . Secara keseluruhan respon spektra struktur kondisi tertambat seperti halnya dengan kondisi *free floating* yaitu respon struktur lebih didominasi oleh spektrum gelombang dibandingkan dengan RAO.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya maka dapat ditarik kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah yang ada yaitu:

1. *Supporting structure* PLTAL jenis TLP ditempatkan diperairan Tanjung Gali Segara Lombok Timur. Konfigurasi desain utama struktur yaitu memiliki 3 *Column* dengan masing-masing berdiameter 1,3 m dan panjang 4 m. Struktur *deck* berbentuk segitiga sama sisi dengan panjang sisi yaitu 5 m. Struktur *pontoon* terbagi menjadi 3 yaitu *pontoon* 1 berbentuk tubular dengan diameter 0,33 m, *pontoon* 2 berbentuk *boxes* dengan lebar 0,6 m dan tinggi 0,4 m, serta *pontoon* 3 juga berbentuk *boxes* dengan lebar 0,4-0,6 m dan tinggi 0,4 m. Struktur memiliki sarat air yaitu 2,5 m dan *freeboard* 1,5 m.
2. Analisa pada gelombang regular dilakukan pada kondisi *free floating* dan tertambat. Pada kondisi *free floating* nilai RAO terbesar untuk masing-masing gerakan yang paling dominan yaitu *heave* pada frekuensi alami 1,25 rad/s sebesar 1,656 m/m, *roll* pada frekuensi alami 2,40 rad/s dengan pembebanan dari arah 120° dan 240° sebesar 2,88 deg/m, dan *pitch* pada frekuensi alami 2,40 rad/s dengan pembebanan dari arah 0° sebesar 3,34 deg/m. Pada kondisi tertambat grafik RAO untuk masing-masing gerakan yaitu *surge* didominasi oleh arah pembebanan dari 0° dan 180°, *sway* didominasi oleh arah pembebanan dari 90°, *heave* nilai RAO tertinggi sebesar 1,53 m/m untuk semua arah pembebanan, *roll* nilai RAO tertinggi sebesar 2,40 deg/m untuk arah pembebanan 120°, *pitch* nilai RAO tertinggi sebesar 2,78 deg/m untuk arah pembebanan 0°, dan *yaw* nilai RAO tertinggi sebesar 4,21 untuk arah pembebanan 30°, 90°, dan 150°. Secara garis besar nilai RAO kondisi tertambat lebih kecil bila dibandingkan dengan kondisi *free floating*.
3. Analisa pada gelombang irregular dilakukan pada kondisi *free floating* dan tertambat. Pada kondisi *free floating* nilai respon spektra terbesar untuk

masing-masing gerakan yang paling dominan yaitu *heave* karena gelombang dari semua arah sebesar  $2,81 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$ , *roll* karena gelombang dari arah  $90^\circ$  sebesar  $0,96 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$ , dan *pitch* karena gelombang dari arah  $180^\circ$  sebesar  $0,98 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$ . Pada kondisi tertambat nilai respon spektra terbesar untuk masing-masing gerakan yaitu *surge* karena gelombang dari arah  $0^\circ$  dan  $180^\circ$  sebesar  $19,81 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$ , *sway* karena gelombang dari arah  $90^\circ$  sebesar  $19,79 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$ , *heave* karena gelombang dari semua arah sebesar  $2,72 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$ , *roll* karena gelombang dari arah  $90^\circ$  sebesar  $1,01 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$ , *pitch* karena gelombang dari arah  $0^\circ$  dan  $180^\circ$  sebesar  $1,03 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$ , dan *yaw* karena gelombang dari arah  $150^\circ$  sebesar  $0,17 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$ . Secara keseluruhan respon spektra struktur kondisi *free floating* dan kondisi tertambat lebih didominasi oleh spektrum gelombang dibandingkan dengan RAO. Dari perbandingan grafik RAO dan grafik spektra respon terlihat bahwa untuk semua mode gerakan kecuali *surge* dan *sway* memiliki jarak antar puncak grafik yang cukup jauh. Hal ini mengindikasikan bahwa bentuk struktur sudah cukup baik untuk ditempatkan di wilayah perairan Selat Alas karena frekuensi alami gerakan struktur tidak beresonansi dengan frekuensi puncak spektra sehingga respon struktur yang berlebihan dapat dihindari. Selain itu untuk mode gerakan *surge* dan *sway* walaupun puncak spektra dan frekuensi alami struktur memiliki jarak yang cukup dekat namun peluang kejadian gelombang pada frekuensi tersebut untuk perairan di Indonesia adalah sangat rendah.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut adalah:

1. Analisis respon gerak dengan mempertimbangkan efek putaran turbin
2. Analisa kekuatan struktur akibat efek putaran turbin dan lingkungan
3. Perlu dilakukan analisa terhadap tegangan sistem tali tambat
4. Membandingkan *supporting structure* PLTAL jenis TLP dengan jenis bangunan terapung lainnya.
5. Perhitungan ekonomis pembuatan PLTAL di Selat Alas

6. Kajian kelayakan pembangunan PLTAL di Selat Alas
7. Pembuatan konsep *farming* untuk PLTAL di Selat Alas



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2013. *Pembangkit Listrik Arus Laut BPPT, Efisiensi Tinggi pada Arus Rendah*. <http://bppt.go.id/>. Diakses pada tanggal 7 Desember 2014
- Awalia, W.R. 2014. *Studi Konsep Pemanfaatan Arus Laut di Selat Lalang Sebagai Sumber Energi Terbarukan Untuk FSO Ladinda*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Azis, Asruldi. 2010. *Studi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Arus Laut di Selat Alas Kabupaten Lombok, NTB*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Bhattacharyya, R. 1978. *Dynamic of Marine Vehicles*. John Wiley & Sons, New York, USA
- BPPT Laboratorium Hidrodinamika Indonesia. 2014. <http://bppt.go.id/>. Diakses pada tanggal 7 Desember 2014
- Cendrawani. 2012. *Studi Komparasi Perilaku Dinamis Tension Leg Platform Kolom Tunggal Bertelapak Kaki Bintang Tiga dan Bintang Empat dengan Pendekatan Pembebanan Berdasar Teori Morison dan Difraksi*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Chakrabarti, S. K. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structure*. Computational Mechanics Publication Southampton Boston, Springer-Verlag, Berlin
- Chakrabarti, S. K. 2005. *Handbook of Offshore Engineering Volume 1*. Offshore Structure Analysis, Inc.
- Darmadi, B.D. 2003. *Diktat Statika Struktur 1*. Fakultas Teknik-Jurusan Mesin Universitas Brawijaya
- Djarmiko, E. B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. Surabaya: ITS Press
- DNV OS C105. 2008. *Structural Design of TLPS (LRFD Method)*. Det Norske Veritas

- DNV RP C205. 2007. *Environmental Conditions and Environmental Loads*. Det Norske Veritas
- Ferial. 2011. *Wilayah Perairan Indonesia Simpan Potensi Energi Listrik Dari Arus Laut*. <http://ebtke.esdm.go.id/>. Diakses pada tanggal 10 Desember 2014
- Google. 2014. <http://maps.google.com/>. Diakses pada tanggal 10 Desember 2014
- <http://marinetraffic.com/> diakses pada tanggal 13 September 2015
- <http://www.ctatlas.reefbase.org/> diakses pada tanggal 10 September 2015
- <http://www.dekin.kkp.go.id/> diakses pada tanggal 18 Januari 2015
- <http://www.webapp.navionics.com/> diakses pada tanggal 9 September 2015
- Khan, N.I., M.T. Iqbal, Michael Hinchey, dan Vlastimil Masek. 2009. *Performance of Savonius Rotor as A Water Current Turbine*. Journal of Ocean Technology. Vol. 4, No. 2, pp. 71-83
- Kurnia, A.Z. 2006. *Analisa Tegangan Pada Tendon Porch Akibat Gerakan Tension Leg Platform (TLP)*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Lunar Energy Ltd. 2011. <http://www.lunarenergy.co.uk>. Diakses pada tanggal 27 Juli 2015
- Marine Current Turbines Ltd. 2011. <http://www.marineturbines.com>. Diakses pada tanggal 27 Juli 2015
- Mehmood, N., Zhang Liang dan Jawad Khan. 2012. *Harnessing Ocean Energy by Tidal Current Technologies*. Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 4(18): 3476-3487
- Mukhtasor. 2012. *Ocean Energy in Indonesia. An Overview and Notes for Ocean Energy Development*. Presentasi EBTKE-CONEX. Jakarta.
- PCCI, Inc. 2009. *Wave and Current Energy Generating Devices Criteria and Standards*. Final Report
- Plainfield, Illinois, USACurrent Power, A.B., 2011. <http://www.currentpower.se>. Diakses pada tanggal 28 Juli 2015
- Rourke, F.O., F. Boyle dan A. Reynolds. 2009. *Renewable energy resources and technologies applicable to Ireland*. Renew. Sus. Energ. Rev., 13(8):

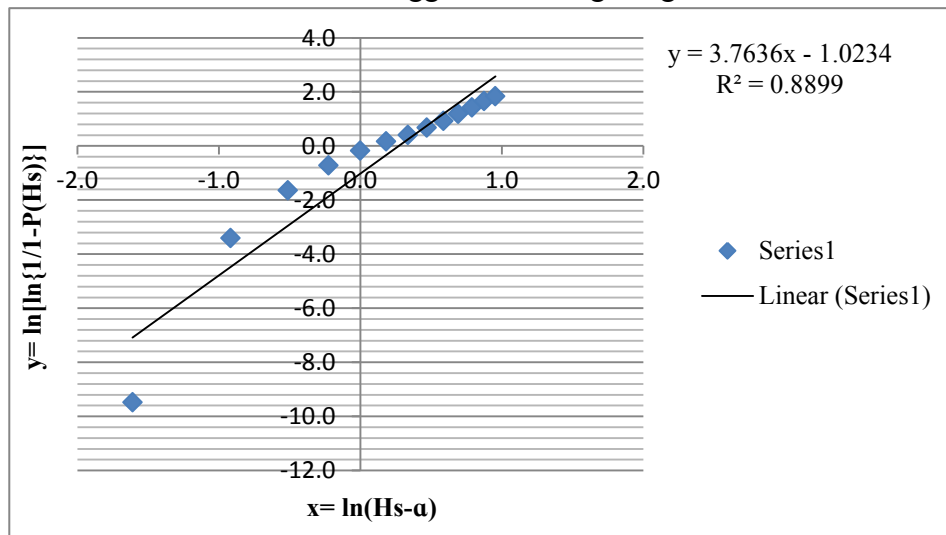
1975-1984

Weibull, W. 1951. *A Statistical Distribution Function of Wide Applicability*.  
Journal of Applied Mechanics, Transaction of ASME, Vol. 18, pp.293-  
297

Tabel A.1 Data Gelombang Tanjung Gali Segara Selat Alas

Tinggi Gelombang Signifikan ( $H_s$ )	Jumlah	Kumulatif	$H_s$ (m)	$P(H_s)$	$\ln(H_s - a)$	$\ln[\ln\{1/1 - P(H_s)\}]$
0 – 0.2	1	1	0.2	7.61006E-05	-1.6094	-9.4834
0.2 – 0.4	425	426	0.4	0.03241886	-0.9163	-3.4126
0.4 – 0.6	1885	2311	0.6	0.17586850	-0.5108	-1.6429
0.6 – 0.8	2745	5056	0.8	0.38476466	-0.2231	-0.7221
0.8 – 1.0	2404	7460	1.0	0.56771051	0.0000	-0.1760
1.0 – 1.2	1651	9111	1.2	0.69335261	0.1823	0.1673
1.2 – 1.4	1077	10188	1.4	0.77531296	0.3365	0.4008
1.4 – 1.6	1120	11308	1.6	0.86054564	0.4700	0.6780
1.6 – 1.8	770	12078	1.8	0.91914311	0.5878	0.9223
1.8 – 2.0	556	12634	2.0	0.96145504	0.6931	1.1805
2.0 – 2.2	299	12933	2.2	0.98420912	0.7885	1.4227
2.2 – 2.4	140	13073	2.4	0.99486321	0.8755	1.6623
2.4 – 2.6	42	13115	2.6	0.99805943	0.9555	1.8317
2.6 – 2.8	21	13136	2.8	0.99965755	1.0296	2.0769
2.8 – 3.0	4	13140	3.0	0.99996195	1.0986	2.3201
		13140.5				

Gambar A.1 Grafik Korelasi Tinggi Gelombang dengan Distribusi Kumulatif



Tabel A.2 Data Peramalan Tinggi Gelombang

Kurun Waktu (tahun)	$P_y(H_s)$	$\ln[\ln\{1/1 - P(H_s)\}]$	$\ln(H_s - a)$	$H_s$ (m)
1	0.99965753	2.0769	0.8237	2.28
10	0.99996575	2.3304	0.8911	2.44
100	0.99999658	2.5325	0.9448	2.57

Tabel B.1 Data *Supporting Structure* PLTAL

Tinggi <i>Deck</i> ( $h_d$ )	0.15	m	Panjang <i>Stiffener</i> ( $l_s$ )	4.55	m
Panjang Alas <i>Deck</i> ( $l_{ad}$ )	5	m	Diameter <i>Stiffener</i> ( $d_s$ )	0.33	m
Tebal <i>Deck</i> ( $t_d$ )	0.008	m	Tebal <i>Stiffener</i> ( $t_s$ )	0.006	m
Tinggi Alas <i>Deck</i> ( $T_d$ )	4.33	m	Jumlah <i>Pontoon 1</i>	3	
Jumlah kaki	3		Panjang <i>Pontoon 1</i> ( $l_{p1}$ )	1.907	m
Ketebalan ( $t$ )	0.013	m	Diameter <i>Pontoon 1</i> ( $d_{p1}$ )	0.33	m
Diameter ( $d$ )	1.3	m	Tebal <i>Pontoon 1</i> ( $t_{p1}$ )	0.006	m
Jari-jari ( $r$ )	0.65	m	Jumlah <i>Pontoon 2</i>	3	
Tinggi <i>Column</i> ( $h$ )	4	m	Panjang <i>Pontoon 2</i> ( $l_{p2}$ )	3.70	m
massa jenis besi column ( $\rho_{baja}$ )	7.8	ton/m <sup>3</sup>	Tinggi <i>Pontoon 2</i> ( $d_{p2}$ )	0.40	m
massa jenis air	1	ton/m <sup>3</sup>	Lebar <i>Pontoon 2</i> ( $b_{p2}$ )	0.60	m
massa jenis air laut	1.025	ton/m <sup>3</sup>	Tebal <i>Pontoon 2</i> ( $t_{p2}$ )	0.006	m
$\Pi$	3.14		Jumlah <i>Pontoon 3</i>	3	
Sarat air ( $T$ )	2.5	m	Panjang <i>Pontoon 3</i> ( $l_{p3}$ )	1.30	m
Berat <i>Equipment</i>	0.1	ton	Tinggi <i>Pontoon 3</i> ( $d_{p3}$ )	0.40	m
Dimensi <i>Equipment</i>	2x2x1	m	Lebar <i>Pontoon 3</i> ( $b_{p3}$ )	0.60	m
Berat Turbin	0.38	ton	Lebar Ujung <i>Pontoon 3</i> ( $b_{p3'}$ )	0.40	m
Jumlah <i>Stiffener</i>	1		Tebal <i>Pontoon 3</i> ( $t_{p3}$ )	0.006	m

Tabel B.2 Perhitungan Volume dan Berat Struktur

<i>Column Structure</i>				<i>Pontoon 1 Structure</i>			
Volume <i>Column</i> ( $V_c$ )	=	$\pi(r)^2 \times h - \pi(r-t)^2 \times (h-2t)$		Volume <i>Pontoon 1</i> ( $V_{p1}$ )	=	$\pi(d_{p1}/2)^2 \times l_{p1} - \pi((d_{p1}/2)-t_{p1})^2 \times l_{p1}$	
	=	0.260	m <sup>3</sup>		=	0.012	m <sup>3</sup>
Berat <i>Column</i> ( $W_c$ )	=	$(V_c) \times \rho_{baja}$		Berat <i>Pontoon 1</i> ( $W_{p1}$ )	=	$(V_{p1}) \times \rho_{baja}$	
	=	2.027	ton		=	0.091	ton
Berat Total <i>Column</i> ( $W_{ct}$ )	=	$3(W_c + 5\% \times W_c)$		Berat Total <i>Pontoon 1</i> ( $W_{p1t}$ )	=	$3W_{p1}$	
	=	6.384	ton		=	0.272	ton
COG Z <i>Column</i>	=	0.5h		COG Z <i>Pontoon 1</i>	=	0.5d <sub>p2</sub>	
	=	2.000	m		=	0.2	m

<i>Deck Structure</i>				<i>Pontoon 2 Structure</i>			
Volume <i>Deck</i> (V <sub>d</sub> )	=	$(1/2 \times l_{ad} \times t_d \times h_d) - (1/2 \times (l_{ad} - 2t_d) \times (T_d - 2t_d) \times (h_d - 2t_d))$		Volume <i>Pontoon 2</i> (V <sub>p2</sub> )	=	$(l_{p2} \times d_{p2} \times b_{p2}) - ((l_{p2} - 2t_{p2}) \times (d_{p2} - 2t_{p2}) \times (b_{p2} - 2t_{p2}))$	
	=	0.183	m <sup>3</sup>		=	0.047	m <sup>3</sup>
Berat <i>Deck</i> (W <sub>d</sub> )	=	(V <sub>d</sub> ) x (ρ <sub>baja</sub> )		Berat <i>Pontoon 2</i> (W <sub>p2</sub> )	=	(V <sub>p2</sub> ) x ρ <sub>baja</sub>	
	=	1.500	ton		=	0.364	ton
COG Z <i>Deck</i>	=	h+0.5h <sub>d</sub>		Berat Total <i>Pontoon 2</i> (W <sub>p2t</sub> )	=	3W <sub>p2</sub>	
	=	4.075	m		=	1.091	ton
				COG Z <i>Pontoon 2</i>	=	0.5d <sub>p2</sub>	
					=	0.2	m
<i>Stiffener Structure</i>				<i>Pontoon 3 Structure</i>			
Volume <i>Stiffener</i> (V <sub>s</sub> )	=	$\pi(d_{s1}/2)^2 \times l_{s1} - \pi((d_{s1}/2) - t_{s1})^2 \times l_{s1}$		Volume <i>Pontoon 3</i> (V <sub>p3</sub> )	=	$((b_{p3} + b_{p3'}) \times l_{p3} / 2 \times d_{p3}) - (((b_{p3} - 2t_{p3}) + (b_{p3'} - 2t_{p3'})) \times (l_{p3} - 2t_{p3}) / 2 \times (d_{p3} - 2t_{p3}))$	
	=	0.028	m <sup>3</sup>		=	0.016	m <sup>3</sup>
Berat <i>Stiffener</i> (W <sub>s</sub> )	=	(V <sub>s1</sub> ) x ρ <sub>baja</sub>		Berat <i>Pontoon 3</i> (W <sub>p3</sub> )	=	(V <sub>p3</sub> ) x ρ <sub>baja</sub>	
	=	0.217	ton		=	0.126	ton
COG Z <i>Stiffener</i>	=	0.5l <sub>s1</sub> - 0.5		Berat Total <i>Pontoon 3</i> (W <sub>p3t</sub> )	=	3W <sub>p3</sub>	
	=	1.775	m		=	0.377	ton
				COG Z <i>Pontoon 3</i>	=	0.5d <sub>p2</sub>	
					=	0.2	m

Tabel B.3 Perhitungan Displacement Struktur

<i>Total Structure</i>				
Berat Total	=	$W_{ct}+W_d+W_b+W_{s1t}+W_{s2t}+W_{s3t}$		
	=	9.844	ton	
COG Z Total	=	$W_{ct}xCOG+W_dxCOG+W_bxCOG+W_{s1t}xCOG+W_{s2t}xCOG+W_{s3t}xCOG$		
		$W_{ct}+W_{hp}+W_d+W_b+W_{s1t}+W_{s2t}+W_{s3t}$		
	=	10.824	m	
		9.844	ton	
		Volume Tercelup		Berat Total Struktur
1. Stiffener		0.261	m <sup>3</sup>	0.217 ton
2. Pontoon 1		0.489	m <sup>3</sup>	0.272 ton
3. Pontoon 2		2.664	m <sup>3</sup>	1.091 ton
4. Pontoon 3		0.780	m <sup>3</sup>	0.377 ton
5. Turbin		0.214	m <sup>3</sup>	0.380 ton
6. Column		9.950	m <sup>3</sup>	6.096 ton
7. Deck		-		1.500 ton
8. Equipment		-		0.100 ton
TOTAL		14.357	m <sup>3</sup>	10.034 ton
Gaya Berat				98.329 kN
Displacement ( $\Delta$ )				
		144.218	kN	
Persentase Gaya Berat terhadap Displacement				
		68.181	%	
Persentase Volume Stiffener 2&3 terhadap Displacement				
		27.394	%	
Displacement ( $\Delta$ ) column				
		54.057	kN	
Sarat Air <i>Free Floating</i>				
		1.352	m	



Tabel C.1 Perhitungan Jari-jari Girasi dan COG *Column Structure*

No .	Nama Komponen	Berat (Ton)	Titik Berat Terhadap			M*X (ton.m)	M*Y (ton.m)	M*Z (ton.m)
			X (m)	Y (m)	Z (m)			
1	Column 1	1.628	1.44	-2.50	2.00	2.351	-4.071	3.257
2	Column 2	1.628	1.44	2.50	2.00	2.351	4.071	3.257
3	Column 3	1.628	-2.88	0.00	2.00	-4.701	0.000	3.257
4	Plate A 1	0.135	1.44	-2.50	3.99	0.194	-0.336	0.536
5	Plate A 2	0.135	1.44	2.50	3.99	0.194	0.336	0.536
6	Plate A 3	0.135	-2.88	0.00	3.99	-0.388	0.000	0.536
7	Plate B 1	0.269	1.44	-2.50	0.01	0.388	-0.673	0.003
8	Plate B 2	0.269	1.44	2.50	0.01	0.388	0.673	0.003
9	Plate B 3	0.269	-2.88	0.00	0.01	-0.777	0.000	0.003
	Subtotal	6.096				0.000	0.000	11.390
						0.000	0.000	1.868

Inertia Benda			Perpindahan Sumbu								
Ixx	Iyy	Izz	Δx	Δy	Δz	(Δx) <sup>2</sup>	(Δy) <sup>2</sup>	(Δz) <sup>2</sup>	(rx) <sup>2</sup>	(ry) <sup>2</sup>	(rz) <sup>2</sup>
2.2	2.2	0.7	1.4	-2.5	0.2	2.1	6.3	0.0	6.3	2.1	8.3
2.2	2.2	0.7	1.4	2.5	0.2	2.1	6.3	0.0	6.3	2.1	8.3
2.2	2.2	0.7	-2.9	0.0	0.2	8.3	0.0	0.0	0.0	8.4	8.3
0.0	0.0	0.0	1.4	-2.5	2.2	2.1	6.3	4.8	11.0	6.8	8.3
0.0	0.0	0.0	1.4	2.5	2.2	2.1	6.3	4.8	11.0	6.8	8.3
0.0	0.0	0.0	-2.9	0.0	2.2	8.3	0.0	4.8	4.8	13.1	8.3
0.0	0.0	0.1	1.4	-2.5	-1.8	2.1	6.3	3.2	9.5	5.3	8.3
0.0	0.0	0.1	1.4	2.5	-1.8	2.1	6.3	3.2	9.5	5.3	8.3
0.0	0.0	0.1	-2.9	0.0	-1.8	8.3	0.0	3.2	3.2	11.6	8.3
Inertia Tambahan					Global Inertia						
ΔIxx		ΔIyy	ΔIzz	Total Ixx			Total Iyy		Total Izz		
10.2		3.5	13.6	12.4			5.6		14.2		
10.2		3.5	13.6	12.4			5.6		14.2		
0.1		13.6	13.6	2.2			15.8		14.2		
1.5		0.9	1.1	1.5			0.9		1.1		
1.5		0.9	1.1	1.5			0.9		1.1		
0.6		1.8	1.1	0.7			1.8		1.1		
2.5		1.4	2.2	2.6			1.5		2.3		
2.5		1.4	2.2	2.6			1.5		2.3		
0.9		3.1	2.2	0.9			3.1		2.3		
						36.7		36.7		53.1	

Tabel C.2 Perhitungan Jari-jari Girasi dan COG *Stiffener & Pontoon Structure*

No	Nama Komponen	Berat (Ton)	Titik Berat Terhadap			M*X (ton.m)	M*Y (ton.m)	M*Z (ton.m)
			X (m)	Y (m)	Z (m)			
1	Stiffener	0.22	0.00	0.00	1.78	0.00	0.00	0.38
2	Pontoon 11	0.09	1.44	0.00	0.20	0.13	0.00	0.02
3	Pontoon 12	0.09	-0.72	1.25	0.20	-0.07	0.11	0.02
4	Pontoon 13	0.09	-0.72	-1.25	0.20	-0.07	-0.11	0.02
5	Pontoon 21	0.36	0.64	-1.10	0.20	0.23	-0.40	0.07
6	Pontoon 22	0.36	0.64	1.10	0.20	0.23	0.40	0.07
7	Pontoon 23	0.36	-1.28	0.00	0.20	-0.46	0.00	0.07
8	Pontoon 31	0.13	4.21	0.00	0.20	0.53	0.00	0.03
9	Pontoon 32	0.13	-2.09	3.62	0.20	-0.26	0.46	0.03
10	Pontoon 33	0.13	-2.09	-3.62	0.20	-0.26	-0.46	0.03
	Subtotal	1.96				0.00	0.00	0.73
						0.00	0.00	0.37

Inertia Benda			Perpindahan Sumbu								
Ixx	Iyy	Izz	Δx	Δy	Δz	(Δx) <sup>2</sup>	(Δy) <sup>2</sup>	(Δz) <sup>2</sup>	(rx) <sup>2</sup>	(ry) <sup>2</sup>	(rz) <sup>2</sup>
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	-1.6	2.1	0.0	2.6	2.6	4.7	2.1
0.0	0.0	0.0	-0.7	1.3	-1.6	0.5	1.6	2.6	4.1	3.1	2.1
0.0	0.0	0.0	-0.7	-1.3	-1.6	0.5	1.6	2.6	4.1	3.1	2.1
0.4	0.4	0.1	0.6	-1.1	-1.6	0.4	1.2	2.6	3.8	3.0	1.6
0.4	0.4	0.1	0.6	1.1	-1.6	0.4	1.2	2.6	3.8	3.0	1.6
0.4	0.4	0.1	-1.3	0.0	-1.6	1.6	0.0	2.6	2.6	4.2	1.6
0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	-1.6	17.8	0.0	2.6	2.6	20.3	17.8
0.0	0.0	0.0	-2.1	3.6	-1.6	4.4	13.1	2.6	15.7	7.0	17.5
0.0	0.0	0.0	-2.1	-3.6	-1.6	4.4	13.1	2.6	15.7	7.0	17.5
Inertia Tambahan					Global Inertia						
ΔIxx		ΔIyy		ΔIzz	Total Ixx		Total Iyy		Total Izz		
0.0		0.0		0.0	0.0		0.0		0.0		
0.2		0.4		0.2	0.3		0.4		0.2		
0.4		0.3		0.2	0.4		0.3		0.2		
0.4		0.3		0.2	0.4		0.3		0.2		
1.4		1.1		0.6	1.8		1.5		0.7		
1.4		1.1		0.6	1.8		1.5		0.7		
0.9		1.5		0.6	1.4		1.9		0.7		
0.3		2.6		2.2	0.3		2.6		2.3		
2.0		0.9		2.2	2.0		0.9		2.2		
2.0		0.9		2.2	2.0		0.9		2.2		
					10.4		10.3		9.5		

Tabel C.3 Perhitungan Jari-jari Girasi dan COG *Deck, Equipment and Turbine Structure*

No	Nama Komponen	Berat (Ton)	Titik Berat Terhadap			M*X (ton.m)	M*Y (ton.m)	M*Z (ton.m)
			X (m)	Y (m)	Z (m)			
1	Deck	1.50	0.00	0.00	4.08	0.00	0.00	6.11
2	Equipment	0.10	0.00	0.00	4.65	0.00	0.00	0.47
3	Turbine	0.38	0.00	0.00	-1.50	0.00	0.00	-0.57
	Subtotal	1.98				0.00	0.00	6.01
						0.00	0.00	3.03

Inertia Benda			Perpindahan Sumbu								
Ixx	Iyy	Izz	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$	$(\Delta x)^2$	$(\Delta y)^2$	$(\Delta z)^2$	$(rx)^2$	$(ry)^2$	$(rz)^2$
17	17	2.6	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	5.1	5.1	5.1	0.0
0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	8.1	8.1	8.1	0.0
0.6	0.6	1.2	0.0	0.0	-3.3	0.0	0.0	10.9	10.9	10.9	0.0
Inertia Tambahan					Global Inertia						
$\Delta I_{xx}$	$\Delta I_{yy}$	$\Delta I_{zz}$	Total Ixx			Total Iyy			Total Izz		
7.7	7.7	0.0	24.6			24.6			2.6		
0.8	0.8	0.0	0.8			0.8			0.7		
4.2	4.2	0.0	4.8			4.8			1.2		
					30.2		30.2		4.4		

Tabel C.4 Perhitungan Jari-jari Girasi dan COG Total

No.	Nama Komponen	Berat (Ton)	Titik Berat Terhadap			M*X (ton.m)	M*Y (ton.m)	M*Z (ton.m)
			X (m)	Y (m)	Z (m)			
1	Column Structure	6.10	0.00	0.00	1.87	0.00	0.00	11.39
2	Deck, Equipment and Turbine	1.98	0.00	0.00	3.03	0.00	0.00	6.01
3	Stiffener & Pontoon Structure	1.96	0.00	0.00	0.37	0.00	0.00	0.73
	TOTAL LOAD	10.034				0.00	0.00	18.13
	LCG(x)	=	0.00	m				
	TCG(y)	=	0.00	m				
	VCG(z)	=	1.81	m				
	Ixx Total	=	77.335					
	Iyy Total	=	77.274					
	Izz Total	=	67.007					
	Kxx	=	2.776	m				
	Kyy	=	2.775	m				
	Kzz	=	2.584	m				

Tabel C.5 Perhitungan COB *Column, Pontoon, Stiffener, & Turbine*

No	Nama Komponen	Volume Tercelup (m <sup>3</sup> )	Titik Berat Terhadap			V*X (m <sup>3</sup> .m)	V*Y (m <sup>3</sup> .m)	V*Z (m <sup>3</sup> .m)
			X (m)	Y (m)	Z(m)			
1	Column 1	3.32	1.44	-2.50	1.25	4.79	-8.29	4.15
2	Column 2	3.32	1.44	2.50	1.25	4.79	8.29	4.15
3	Column 3	3.32	-2.89	0.00	1.25	-9.57	0.00	4.15
	Subtotal	9.95				0.00	0.00	12.44
						0.00	0.00	1.25
4	Turbine	0.21	0.00	0.00	-1.50	0.00	0.00	-0.32
	Subtotal	0.21				0.00	0.00	-0.32
						0.00	0.00	-1.50
5	Stiffener	0.26	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00	0.25
6	Pontoon 11	0.16	1.44	0.00	0.20	0.24	0.00	0.03
7	Pontoon 12	0.16	-0.72	1.25	0.20	-0.12	0.20	0.03
8	Pontoon 13	0.16	-0.72	-1.25	0.20	-0.12	-0.20	0.03
9	Pontoon 21	0.89	0.64	-1.10	0.20	0.57	-0.98	0.18
10	Pontoon 22	0.89	0.64	1.10	0.20	0.57	0.98	0.18
11	Pontoon 23	0.89	-1.28	0.00	0.20	-1.13	0.00	0.18
12	Pontoon 31	0.26	4.21	0.00	0.20	1.10	0.00	0.05
13	Pontoon 32	0.26	-2.09	3.62	0.20	-0.54	0.94	0.05
14	Pontoon 33	0.26	-2.09	-3.62	0.20	-0.54	-0.94	0.05
	Subtotal	4.19				0.01	0.00	1.03
						0.00	0.00	0.25

Tabel C.6 Perhitungan COB Total

No.	Nama Komponen	Volume Tercelup (m <sup>3</sup> )	Titik <i>Buoyancy</i> Terhadap			V*X (m <sup>3</sup> .m)	V*Y (m <sup>3</sup> .m)	V*Z (m <sup>3</sup> .m)
			X (m)	Y (m)	Z (m)			
1	Column Structure	9.95	0.00	0.00	1.25	0.00	0.00	12.44
2	Turbine	0.21	0.00	0.00	-1.50	0.00	0.00	-0.32
3	Stiffener & Pontoon Structure	4.19	0.00	0.00	0.25	0.02	0.00	1.03
	TOTAL LOAD	14.36				0.02	0.00	13.15
	LCB(x)	=	0.00	m				
	TCB(y)	=	0.00	m				
	VCB(z)	=	0.92	m				

Tabel D.1 RAO *Free Floating Gerakan Heave*

Encounter	<i>Heave</i> RAO, $z_{x0}/z_0$ (m/m)											
Freq (rad/s)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
0.100	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.388	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006
0.675	1.025	1.025	1.025	1.025	1.025	1.025	1.025	1.025	1.025	1.025	1.025	1.025
0.963	1.094	1.094	1.095	1.095	1.094	1.094	1.094	1.094	1.095	1.095	1.095	1.094
1.250	1.656	1.657	1.658	1.657	1.657	1.656	1.656	1.656	1.657	1.658	1.657	1.656
1.538	0.048	0.036	0.048	0.035	0.051	0.037	0.048	0.036	0.048	0.035	0.052	0.037
1.825	0.383	0.385	0.388	0.384	0.382	0.385	0.389	0.384	0.381	0.384	0.389	0.386
2.113	0.377	0.389	0.403	0.388	0.375	0.389	0.403	0.388	0.375	0.389	0.404	0.390
2.401	0.266	0.297	0.328	0.296	0.264	0.296	0.328	0.296	0.264	0.296	0.329	0.298
2.688	0.134	0.172	0.206	0.170	0.132	0.170	0.206	0.171	0.132	0.170	0.207	0.172
2.976	0.072	0.091	0.112	0.089	0.071	0.090	0.111	0.091	0.072	0.090	0.111	0.090
3.263	0.046	0.050	0.055	0.049	0.047	0.049	0.054	0.051	0.048	0.050	0.055	0.050
3.551	0.021	0.026	0.023	0.025	0.021	0.025	0.022	0.026	0.022	0.026	0.023	0.025
3.839	0.014	0.005	0.011	0.005	0.013	0.004	0.010	0.005	0.013	0.005	0.010	0.005
4.126	0.034	0.019	0.028	0.019	0.034	0.019	0.029	0.019	0.034	0.019	0.028	0.020
4.414	0.026	0.011	0.032	0.011	0.026	0.011	0.033	0.011	0.026	0.011	0.032	0.011
4.701	0.017	0.002	0.021	0.002	0.017	0.002	0.021	0.002	0.017	0.002	0.021	0.002
4.989	0.008	0.003	0.009	0.003	0.008	0.003	0.009	0.003	0.008	0.003	0.009	0.003
5.276	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002
5.564	0.004	0.001	0.002	0.001	0.004	0.001	0.002	0.001	0.004	0.001	0.002	0.001

Tabel D.2 RAO *Free Floating* Gerakan *Roll*

Encounter	Roll RAO, $z_{x0} / z_0$ (deg/m)											
Freq (rad/s)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
0.10	0.00	0.10	0.17	0.20	0.17	0.10	0.00	0.10	0.17	0.20	0.17	0.10
0.39	0.00	0.30	0.51	0.59	0.51	0.30	0.00	0.30	0.51	0.59	0.51	0.30
0.68	0.00	0.33	0.50	0.53	0.50	0.32	0.00	0.33	0.50	0.53	0.50	0.32
0.96	0.00	0.33	0.34	0.07	0.34	0.33	0.00	0.33	0.34	0.07	0.34	0.33
1.25	0.01	0.61	0.77	0.66	0.75	0.58	0.01	0.61	0.77	0.66	0.75	0.58
1.54	0.02	0.98	1.47	1.53	1.50	1.02	0.02	0.99	1.49	1.53	1.49	1.01
1.83	0.01	1.31	2.10	2.28	2.17	1.38	0.01	1.37	2.17	2.28	2.10	1.32
2.11	0.01	1.41	2.42	2.75	2.66	1.65	0.01	1.64	2.66	2.75	2.43	1.42
2.40	0.01	1.19	2.34	2.82	2.88	1.80	0.01	1.79	2.88	2.83	2.35	1.20
2.69	0.01	0.67	1.92	2.40	2.61	1.74	0.01	1.73	2.61	2.41	1.93	0.68
2.98	0.01	0.35	1.49	1.50	1.70	1.36	0.01	1.36	1.70	1.50	1.50	0.35
3.26	0.01	0.44	1.30	0.56	1.14	0.81	0.01	0.81	1.14	0.56	1.31	0.43
3.55	0.01	0.32	1.20	0.16	1.27	0.38	0.01	0.39	1.28	0.16	1.20	0.31
3.84	0.00	0.21	0.98	0.26	0.95	0.36	0.01	0.36	0.95	0.26	0.98	0.20
4.13	0.00	0.18	0.61	0.40	0.52	0.39	0.01	0.39	0.53	0.40	0.61	0.18
4.41	0.00	0.24	0.26	0.42	0.36	0.33	0.00	0.33	0.36	0.43	0.26	0.24
4.70	0.00	0.26	0.20	0.35	0.34	0.24	0.00	0.24	0.34	0.35	0.21	0.26
4.99	0.00	0.21	0.31	0.23	0.26	0.12	0.00	0.12	0.26	0.23	0.31	0.21
5.28	0.00	0.10	0.26	0.10	0.18	0.03	0.00	0.03	0.17	0.10	0.26	0.10
5.56	0.00	0.03	0.13	0.04	0.12	0.01	0.00	0.01	0.12	0.04	0.14	0.03

Tabel D.3 RAO *Free Floating Gerakan Pitch*

Encounter	<i>Pitch</i> RAO, $z_{x0}/z_0$ (deg/m)											
Freq (rad/s)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
0.10	0.20	0.17	0.10	0.02	0.10	0.18	0.20	0.17	0.10	0.02	0.10	0.18
0.39	0.59	0.51	0.30	0.10	0.30	0.51	0.59	0.51	0.30	0.10	0.30	0.51
0.68	0.57	0.47	0.29	0.23	0.29	0.47	0.57	0.47	0.29	0.23	0.29	0.47
0.96	0.38	0.19	0.21	0.39	0.21	0.19	0.38	0.19	0.21	0.39	0.21	0.19
1.25	0.88	0.64	0.45	0.58	0.45	0.63	0.87	0.63	0.45	0.58	0.45	0.64
1.54	1.72	1.38	0.86	0.75	0.86	1.37	1.71	1.37	0.87	0.75	0.86	1.38
1.83	2.50	2.04	1.21	0.83	1.25	2.00	2.43	2.00	1.25	0.83	1.21	2.04
2.11	3.07	2.48	1.40	0.80	1.54	2.34	2.80	2.34	1.54	0.80	1.40	2.49
2.40	3.34	2.64	1.35	0.67	1.66	2.28	2.71	2.28	1.67	0.67	1.35	2.65
2.69	3.02	2.39	1.11	0.63	1.51	1.78	2.24	1.78	1.50	0.62	1.11	2.40
2.98	1.97	1.64	0.86	0.76	0.98	0.99	1.74	0.98	0.97	0.75	0.86	1.65
3.26	1.32	0.76	0.75	0.68	0.65	0.35	1.52	0.34	0.65	0.67	0.75	0.77
3.55	1.47	0.29	0.70	0.40	0.73	0.19	1.39	0.19	0.73	0.39	0.69	0.29
3.84	1.09	0.35	0.57	0.30	0.54	0.18	1.13	0.18	0.54	0.30	0.56	0.34
4.13	0.61	0.45	0.35	0.26	0.30	0.28	0.70	0.28	0.30	0.26	0.35	0.44
4.41	0.42	0.42	0.15	0.22	0.20	0.35	0.30	0.35	0.21	0.22	0.15	0.42
4.70	0.40	0.32	0.12	0.20	0.20	0.33	0.24	0.33	0.20	0.20	0.12	0.31
4.99	0.30	0.17	0.18	0.15	0.15	0.24	0.36	0.24	0.15	0.15	0.18	0.17
5.28	0.20	0.06	0.15	0.06	0.10	0.11	0.29	0.11	0.10	0.06	0.15	0.06
5.56	0.13	0.03	0.08	0.01	0.07	0.04	0.15	0.04	0.07	0.01	0.08	0.03

Tabel E.1 RAO Tertambat Gerakan *Surge* dan *Sway*

Encounter	Surge RAO, $x_{x0} / x_0$ (m/m)							Sway RAO, $y_{x0} / y_0$ (m/m)						
Freq (rad/s)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
0.10	2.82	2.44	1.41	0.01	1.41	2.45	2.82	0.00	1.42	2.45	2.83	2.45	1.41	0.00
0.39	2.67	2.31	1.34	0.02	1.33	2.31	2.67	0.00	1.33	2.31	2.67	2.31	1.33	0.00
0.68	1.34	1.16	0.67	0.01	0.67	1.16	1.34	0.00	0.67	1.16	1.34	1.16	0.67	0.00
0.96	0.98	0.85	0.49	0.02	0.49	0.85	0.98	0.00	0.49	0.85	0.98	0.85	0.49	0.00
1.25	0.82	0.71	0.41	0.02	0.41	0.71	0.82	0.00	0.41	0.71	0.82	0.71	0.41	0.00
1.54	0.70	0.61	0.35	0.03	0.35	0.61	0.70	0.00	0.35	0.61	0.70	0.61	0.35	0.00
1.83	0.58	0.49	0.28	0.04	0.29	0.49	0.56	0.00	0.28	0.49	0.57	0.50	0.29	0.00
2.11	0.45	0.38	0.21	0.05	0.23	0.36	0.41	0.00	0.20	0.36	0.42	0.39	0.23	0.00
2.40	0.33	0.25	0.13	0.05	0.16	0.22	0.27	0.00	0.11	0.23	0.27	0.28	0.17	0.00
2.69	0.18	0.11	0.09	0.03	0.09	0.08	0.18	0.00	0.03	0.15	0.11	0.16	0.08	0.00
2.98	0.19	0.05	0.10	0.02	0.10	0.03	0.20	0.00	0.02	0.17	0.05	0.17	0.04	0.00
3.26	0.32	0.13	0.13	0.05	0.16	0.08	0.25	0.00	0.02	0.22	0.12	0.28	0.10	0.00
3.55	0.30	0.10	0.13	0.05	0.15	0.06	0.26	0.00	0.03	0.22	0.09	0.26	0.09	0.00
3.84	0.20	0.03	0.10	0.04	0.10	0.01	0.20	0.00	0.02	0.18	0.02	0.17	0.04	0.00
4.13	0.14	0.05	0.06	0.02	0.07	0.03	0.13	0.00	0.01	0.11	0.04	0.12	0.03	0.00
4.41	0.08	0.06	0.03	0.00	0.04	0.06	0.06	0.00	0.03	0.05	0.07	0.07	0.04	0.00
4.70	0.04	0.08	0.01	0.01	0.02	0.08	0.03	0.00	0.04	0.02	0.09	0.03	0.05	0.00
4.99	0.06	0.07	0.03	0.00	0.03	0.07	0.06	0.00	0.04	0.05	0.09	0.05	0.04	0.00
5.28	0.07	0.04	0.03	0.00	0.04	0.04	0.07	0.00	0.02	0.06	0.04	0.06	0.02	0.00
5.56	0.04	0.01	0.02	0.00	0.02	0.01	0.04	0.00	0.00	0.03	0.01	0.04	0.01	0.00



Tabel E.2 RAO Tertambat Gerakan *Heave* dan *Roll*

Encounter	<i>Heave</i> RAO, $z_{x0} / z_0$ (m/m)							<i>Roll</i> RAO, $x_{x0} / x_0$ (deg/m)						
Freq (rad/s)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
0.10	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.01	0.90	1.56	1.80	1.56	0.90	0.01
0.39	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.00	0.31	0.53	0.60	0.53	0.31	0.00
0.68	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.19	0.20	0.08	0.20	0.19	0.00
0.96	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	0.00	0.32	0.34	0.15	0.33	0.31	0.00
1.25	1.52	1.52	1.53	1.53	1.52	1.52	1.52	0.01	0.58	0.77	0.72	0.76	0.56	0.01
1.54	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.02	0.88	1.33	1.40	1.36	0.91	0.02
1.83	0.39	0.39	0.40	0.39	0.39	0.39	0.40	0.01	1.13	1.81	1.98	1.88	1.19	0.01
2.11	0.38	0.39	0.41	0.39	0.38	0.39	0.41	0.01	1.19	2.04	2.32	2.25	1.39	0.01
2.40	0.27	0.30	0.33	0.30	0.27	0.30	0.33	0.01	0.99	1.95	2.35	2.40	1.50	0.01
2.69	0.13	0.17	0.21	0.17	0.13	0.17	0.21	0.00	0.56	1.59	1.98	2.16	1.43	0.01
2.98	0.07	0.09	0.11	0.09	0.07	0.09	0.11	0.01	0.29	1.22	1.23	1.39	1.11	0.01
3.26	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.01	0.36	1.07	0.45	0.93	0.66	0.01
3.55	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01	0.26	0.98	0.13	1.04	0.31	0.00
3.84	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.17	0.80	0.21	0.77	0.29	0.00
4.13	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.00	0.15	0.50	0.32	0.43	0.32	0.00
4.41	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.00	0.19	0.21	0.34	0.29	0.27	0.00
4.70	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.21	0.16	0.29	0.28	0.19	0.00
4.99	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.17	0.25	0.19	0.21	0.09	0.00
5.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.21	0.08	0.14	0.02	0.00
5.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.11	0.03	0.09	0.01	0.00

Tabel E.3 RAO Tertambat Gerakan *Pitch* dan *Yaw*

Encounter	<i>Pitch</i> RAO, $y_{x0} / y_0$ (deg/m)							<i>Yaw</i> RAO, $z_{x0} / z_0$ (deg/m)						
Freq (rad/s)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
0.10	1.80	1.56	0.90	0.02	0.90	1.56	1.80	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06
0.39	0.61	0.52	0.31	0.11	0.31	0.52	0.61	0.14	0.20	0.13	0.18	0.15	0.25	0.14
0.68	0.22	0.12	0.13	0.23	0.13	0.12	0.22	0.02	0.12	0.02	0.11	0.02	0.11	0.02
0.96	0.38	0.21	0.20	0.37	0.20	0.21	0.38	0.01	0.21	0.01	0.20	0.01	0.20	0.01
1.25	0.88	0.67	0.45	0.52	0.45	0.66	0.88	0.01	0.43	0.01	0.42	0.00	0.42	0.01
1.54	1.55	1.25	0.77	0.65	0.78	1.25	1.54	0.01	0.83	0.00	0.83	0.01	0.83	0.01
1.83	2.16	1.76	1.05	0.71	1.08	1.73	2.10	0.01	1.44	0.00	1.44	0.01	1.44	0.01
2.11	2.60	2.10	1.18	0.67	1.30	1.98	2.37	0.00	2.21	0.00	2.21	0.01	2.20	0.01
2.40	2.78	2.20	1.12	0.56	1.39	1.90	2.26	0.00	3.03	0.00	3.04	0.01	3.03	0.00
2.69	2.50	1.97	0.91	0.52	1.24	1.47	1.85	0.00	3.76	0.01	3.77	0.01	3.75	0.00
2.98	1.62	1.34	0.70	0.62	0.81	0.81	1.43	0.00	4.20	0.01	4.21	0.01	4.20	0.00
3.26	1.08	0.62	0.62	0.55	0.53	0.28	1.24	0.00	4.17	0.01	4.18	0.01	4.17	0.00
3.55	1.20	0.24	0.57	0.32	0.59	0.15	1.14	0.00	3.55	0.00	3.56	0.00	3.56	0.00
3.84	0.89	0.28	0.46	0.25	0.44	0.14	0.92	0.00	2.49	0.00	2.50	0.00	2.50	0.00
4.13	0.49	0.36	0.29	0.21	0.24	0.23	0.57	0.00	1.33	0.00	1.34	0.00	1.34	0.00
4.41	0.34	0.34	0.12	0.18	0.17	0.28	0.24	0.00	0.55	0.00	0.55	0.00	0.55	0.00
4.70	0.33	0.26	0.10	0.16	0.16	0.27	0.20	0.00	0.20	0.00	0.21	0.00	0.21	0.00
4.99	0.25	0.14	0.14	0.12	0.12	0.20	0.29	0.00	0.07	0.01	0.07	0.00	0.07	0.00
5.28	0.16	0.05	0.12	0.05	0.08	0.09	0.24	0.00	0.24	0.01	0.23	0.00	0.23	0.00
5.56	0.11	0.02	0.06	0.01	0.05	0.03	0.12	0.00	0.41	0.01	0.40	0.01	0.41	0.01

Tabel F.1 Spektra Respon *Free Floating* Gerakan *Heave* Arah Gelombang 0°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.81	4	1.01	1.01	2.84	11.37	4.41	1.71	0.26
0.68	0.88	0.20	2	1.02	1.05	0.21	0.42	0.29	0.19	0.09
0.96	0.97	0.04	4	1.09	1.20	0.05	0.18	0.17	0.17	0.16
1.25	0.99	0.01	2	1.66	2.74	0.03	0.06	0.07	0.09	0.14
1.54	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.38	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.11	1.00	0.00	4	0.38	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.40	1.00	0.00	2	0.27	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							12.03	4.94	2.16	0.66
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel F.2 Spektra Respon *Free Floating* Gerakan *Heave* Arah Gelombang 30°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	1.01	1.01	2.81	11.25	4.36	1.69	0.25
0.68	0.88	0.20	2	1.02	1.05	0.21	0.42	0.29	0.19	0.09
0.96	0.97	0.04	4	1.09	1.20	0.05	0.18	0.17	0.17	0.16
1.25	0.99	0.01	2	1.66	2.74	0.03	0.06	0.07	0.09	0.14
1.54	1.00	0.00	4	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.38	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.11	1.00	0.00	4	0.39	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.40	1.00	0.00	2	0.30	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.17	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							11.91	4.89	2.14	0.65
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel F.3 Spektra Respon *Free Floating* Gerakan *Heave* Arah Gelombang 60°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	1.01	1.01	2.81	11.25	4.36	1.69	0.25
0.68	0.88	0.20	2	1.02	1.05	0.21	0.42	0.29	0.19	0.09
0.96	0.97	0.04	4	1.09	1.20	0.05	0.18	0.17	0.17	0.16
1.25	0.99	0.01	2	1.66	2.75	0.03	0.06	0.07	0.09	0.14
1.54	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.39	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.11	1.00	0.00	4	0.40	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.40	1.00	0.00	2	0.33	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.21	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							11.91	4.89	2.14	0.66
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel F.4 Spektra Respon *Free Floating* Gerakan *Heave* Arah Gelombang 90°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	1.01	1.01	2.81	11.25	4.36	1.69	0.25
0.68	0.88	0.20	2	1.02	1.05	0.21	0.42	0.29	0.19	0.09
0.96	0.97	0.04	4	1.09	1.20	0.05	0.18	0.17	0.17	0.16
1.25	0.99	0.01	2	1.66	2.75	0.03	0.06	0.07	0.09	0.14
1.54	1.00	0.00	4	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.38	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.11	1.00	0.00	4	0.39	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.40	1.00	0.00	2	0.30	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.17	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							11.91	4.89	2.14	0.65
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel F.5 Spektra Respon *Free Floating* Gerakan *Heave* Arah Gelombang 120°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	1.01	1.01	2.81	11.25	4.36	1.69	0.25
0.68	0.88	0.20	2	1.02	1.05	0.21	0.42	0.29	0.19	0.09
0.96	0.97	0.04	4	1.09	1.20	0.05	0.18	0.17	0.17	0.16
1.25	0.99	0.01	2	1.66	2.74	0.03	0.06	0.07	0.09	0.14
1.54	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.38	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.11	1.00	0.00	4	0.38	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.40	1.00	0.00	2	0.26	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							11.91	4.89	2.14	0.65
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel F.6 Spektra Respon *Free Floating* Gerakan *Heave* Arah Gelombang 150°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	1.01	1.01	2.81	11.25	4.36	1.69	0.25
0.68	0.88	0.20	2	1.02	1.05	0.21	0.42	0.29	0.19	0.09
0.96	0.97	0.04	4	1.09	1.20	0.05	0.18	0.17	0.17	0.15
1.25	0.99	0.01	2	1.66	2.74	0.03	0.06	0.07	0.09	0.14
1.54	1.00	0.00	4	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.38	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.11	1.00	0.00	4	0.39	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.40	1.00	0.00	2	0.30	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.17	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							11.91	4.89	2.14	0.65
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$



Tabel F.7 Spektra Respon *Free Floating* Gerakan *Heave* Arah Gelombang 180°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	1.01	1.01	2.81	11.25	4.36	1.69	0.25
0.68	0.88	0.20	2	1.02	1.05	0.21	0.42	0.29	0.19	0.09
0.96	0.97	0.04	4	1.09	1.20	0.05	0.18	0.17	0.17	0.15
1.25	0.99	0.01	2	1.66	2.74	0.03	0.06	0.07	0.09	0.14
1.54	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.39	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.11	1.00	0.00	4	0.40	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.40	1.00	0.00	2	0.33	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.21	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							11.91	4.89	2.14	0.66
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel F.8 Spektra Respon *Free Floating* Gerakan *Roll* Arah Gelombang 0°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)^*$ SM	$\omega^*S_r(\omega)^*$ SM	$\omega^2*S_r(\omega)^*$ SM	$\omega^4*S_r(\omega)^*$ SM
0.10	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.68	0.88	0.20	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.25	0.99	0.01	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.54	1.00	0.00	4	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.11	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.40	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							0.00	0.00	0.00	0.00
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4

Tabel F.9 Spektra Respon *Free Floating* Gerakan *Roll* Arah Gelombang 30°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Sr( $\omega$ ) (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	Sr( $\omega$ )* SM	$\omega$ *Sr( $\omega$ )* SM	$\omega^2$ *Sr( $\omega$ )* SM	$\omega^4$ *Sr( $\omega$ )* SM
0.10	0.00	0.00	1	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.30	0.09	0.26	1.02	0.40	0.15	0.02
0.68	0.88	0.20	2	0.33	0.11	0.02	0.04	0.03	0.02	0.01
0.96	0.97	0.04	4	0.33	0.11	0.00	0.02	0.02	0.02	0.01
1.25	0.99	0.01	2	0.61	0.37	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
1.54	1.00	0.00	4	0.98	0.96	0.00	0.01	0.02	0.03	0.08
1.83	1.00	0.00	2	1.31	1.71	0.00	0.01	0.01	0.02	0.06
2.11	1.00	0.00	4	1.41	1.99	0.00	0.01	0.01	0.03	0.12
2.40	1.00	0.00	2	1.19	1.41	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04
2.69	1.00	0.00	4	0.67	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
2.98	1.00	0.00	2	0.35	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.44	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
3.55	1.00	0.00	2	0.32	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.21	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.18	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.24	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.26	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.21	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							1.12	0.50	0.29	0.40
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel F.10 Spektra Respon *Free Floating* Gerakan *Roll* Arah Gelombang 60°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Sr( $\omega$ ) (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	Sr( $\omega$ )* SM	$\omega$ *Sr( $\omega$ )* SM	$\omega^2$ *Sr( $\omega$ )* SM	$\omega^4$ *Sr( $\omega$ )* SM
0.10	0.00	0.00	1	0.17	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.51	0.26	0.74	2.94	1.14	0.44	0.07
0.68	0.88	0.20	2	0.50	0.25	0.05	0.10	0.07	0.05	0.02
0.96	0.97	0.04	4	0.34	0.12	0.00	0.02	0.02	0.02	0.01
1.25	0.99	0.01	2	0.77	0.60	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
1.54	1.00	0.00	4	1.47	2.17	0.01	0.03	0.05	0.08	0.18
1.83	1.00	0.00	2	2.10	4.40	0.01	0.01	0.03	0.05	0.15
2.11	1.00	0.00	4	2.42	5.85	0.00	0.02	0.04	0.08	0.36
2.40	1.00	0.00	2	2.34	5.46	0.00	0.00	0.01	0.03	0.15
2.69	1.00	0.00	4	1.92	3.69	0.00	0.00	0.01	0.02	0.18
2.98	1.00	0.00	2	1.49	2.22	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05
3.26	1.00	0.00	4	1.30	1.70	0.00	0.00	0.00	0.01	0.07
3.55	1.00	0.00	2	1.20	1.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
3.84	1.00	0.00	4	0.98	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
4.13	1.00	0.00	2	0.61	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
4.41	1.00	0.00	4	0.26	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.20	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.31	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.26	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							3.14	1.38	0.79	1.33
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel F.11 Spektra Respon *Free Floating* Gerakan *Roll* Arah Gelombang 90°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Sr( $\omega$ ) (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	Sr( $\omega$ )* SM	$\omega$ *Sr( $\omega$ )* SM	$\omega^2$ *Sr( $\omega$ )* SM	$\omega^4$ *Sr( $\omega$ )* SM
0.10	0.00	0.00	1	0.20	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.59	0.35	0.96	3.84	1.49	0.58	0.09
0.68	0.88	0.20	2	0.53	0.28	0.06	0.11	0.08	0.05	0.02
0.96	0.97	0.04	4	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.25	0.99	0.01	2	0.66	0.44	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
1.54	1.00	0.00	4	1.53	2.35	0.01	0.03	0.05	0.08	0.20
1.83	1.00	0.00	2	2.28	5.21	0.01	0.02	0.03	0.05	0.18
2.11	1.00	0.00	4	2.75	7.55	0.01	0.02	0.05	0.10	0.46
2.40	1.00	0.00	2	2.82	7.96	0.00	0.01	0.02	0.04	0.21
2.69	1.00	0.00	4	2.40	5.77	0.00	0.01	0.01	0.04	0.28
2.98	1.00	0.00	2	1.50	2.25	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05
3.26	1.00	0.00	4	0.56	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
3.55	1.00	0.00	2	0.16	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.26	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.40	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.42	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
4.70	1.00	0.00	2	0.35	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.23	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							4.05	1.74	0.97	1.53
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4

Tabel F.12 Spektra Respon *Free Floating* Gerakan *Roll* Arah Gelombang 120°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Sr( $\omega$ ) (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	Sr( $\omega$ )* SM	$\omega$ *Sr( $\omega$ )* SM	$\omega^2$ *Sr( $\omega$ )* SM	$\omega^4$ *Sr( $\omega$ )* SM
0.10	0.00	0.00	1	0.17	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.51	0.26	0.74	2.94	1.14	0.44	0.07
0.68	0.88	0.20	2	0.50	0.25	0.05	0.10	0.07	0.05	0.02
0.96	0.97	0.04	4	0.34	0.11	0.00	0.02	0.02	0.02	0.01
1.25	0.99	0.01	2	0.75	0.57	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03
1.54	1.00	0.00	4	1.50	2.26	0.01	0.03	0.05	0.08	0.19
1.83	1.00	0.00	2	2.17	4.71	0.01	0.01	0.03	0.05	0.17
2.11	1.00	0.00	4	2.66	7.08	0.01	0.02	0.05	0.10	0.43
2.40	1.00	0.00	2	2.88	8.32	0.00	0.01	0.02	0.04	0.22
2.69	1.00	0.00	4	2.61	6.81	0.00	0.01	0.02	0.05	0.33
2.98	1.00	0.00	2	1.70	2.89	0.00	0.00	0.00	0.01	0.06
3.26	1.00	0.00	4	1.14	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
3.55	1.00	0.00	2	1.27	1.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
3.84	1.00	0.00	4	0.95	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
4.13	1.00	0.00	2	0.52	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.36	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.34	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.26	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.18	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							3.15	1.40	0.85	1.65
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4

Tabel F.13 Spektra Respon *Free Floating* Gerakan *Roll* Arah Gelombang 150°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Sr( $\omega$ ) (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	Sr( $\omega$ )* SM	$\omega$ *Sr( $\omega$ )* SM	$\omega^2$ *Sr( $\omega$ )* SM	$\omega^4$ *Sr( $\omega$ )* SM
0.10	0.00	0.00	1	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.30	0.09	0.26	1.02	0.40	0.15	0.02
0.68	0.88	0.20	2	0.32	0.11	0.02	0.04	0.03	0.02	0.01
0.96	0.97	0.04	4	0.33	0.11	0.00	0.02	0.02	0.02	0.01
1.25	0.99	0.01	2	0.58	0.34	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
1.54	1.00	0.00	4	1.02	1.04	0.00	0.02	0.02	0.04	0.09
1.83	1.00	0.00	2	1.38	1.91	0.00	0.01	0.01	0.02	0.07
2.11	1.00	0.00	4	1.65	2.72	0.00	0.01	0.02	0.04	0.16
2.40	1.00	0.00	2	1.80	3.22	0.00	0.00	0.01	0.01	0.09
2.69	1.00	0.00	4	1.74	3.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.14
2.98	1.00	0.00	2	1.36	1.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
3.26	1.00	0.00	4	0.81	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
3.55	1.00	0.00	2	0.38	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.36	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.39	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.33	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.24	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							1.12	0.52	0.34	0.69
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel F.14 Spektra Respon *Free Floating* Gerakan *Roll* Arah Gelombang 180°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Sr( $\omega$ ) (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	Sr( $\omega$ )* SM	$\omega$ *Sr( $\omega$ )* SM	$\omega^2$ *Sr( $\omega$ )* SM	$\omega^4$ *Sr( $\omega$ )* SM
0.10	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.68	0.88	0.20	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.25	0.99	0.01	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.54	1.00	0.00	4	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.11	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.40	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							0.00	0.00	0.00	0.00
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4



Tabel F.15 Spektra Respon *Free Floating* Gerakan *Pitch* Arah Gelombang 0°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Sr( $\omega$ ) (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	Sr( $\omega$ )* SM	$\omega$ *Sr( $\omega$ )* SM	$\omega^2$ *Sr( $\omega$ )* SM	$\omega^4$ *Sr( $\omega$ )* SM
0.10	0.00	0.00	1	0.20	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.59	0.35	0.98	3.93	1.52	0.59	0.09
0.68	0.88	0.20	2	0.57	0.33	0.07	0.13	0.09	0.06	0.03
0.96	0.97	0.04	4	0.38	0.15	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
1.25	0.99	0.01	2	0.88	0.77	0.01	0.02	0.02	0.02	0.04
1.54	1.00	0.00	4	1.72	2.96	0.01	0.04	0.07	0.10	0.25
1.83	1.00	0.00	2	2.50	6.26	0.01	0.02	0.04	0.07	0.22
2.11	1.00	0.00	4	3.07	9.45	0.01	0.03	0.06	0.13	0.57
2.40	1.00	0.00	2	3.34	11.14	0.00	0.01	0.02	0.05	0.30
2.69	1.00	0.00	4	3.02	9.15	0.00	0.01	0.02	0.06	0.44
2.98	1.00	0.00	2	1.97	3.89	0.00	0.00	0.00	0.01	0.08
3.26	1.00	0.00	4	1.32	1.73	0.00	0.00	0.00	0.01	0.07
3.55	1.00	0.00	2	1.47	2.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
3.84	1.00	0.00	4	1.09	1.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
4.13	1.00	0.00	2	0.61	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
4.41	1.00	0.00	4	0.42	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
4.70	1.00	0.00	2	0.40	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.30	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.20	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							4.21	1.87	1.13	2.19
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4

Tabel F.16 Spektra Respon *Free Floating* Gerakan *Pitch* Arah Gelombang 30°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)^*$ SM	$\omega * S_r(\omega)^*$ SM	$\omega^2 * S_r(\omega)^*$ SM	$\omega^4 * S_r(\omega)^*$ SM
0.10	0.00	0.00	1	0.17	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.51	0.26	0.73	2.91	1.13	0.44	0.07
0.68	0.88	0.20	2	0.47	0.22	0.04	0.09	0.06	0.04	0.02
0.96	0.97	0.04	4	0.19	0.04	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
1.25	0.99	0.01	2	0.64	0.40	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
1.54	1.00	0.00	4	1.38	1.89	0.01	0.03	0.04	0.07	0.16
1.83	1.00	0.00	2	2.04	4.14	0.01	0.01	0.02	0.04	0.15
2.11	1.00	0.00	4	2.48	6.15	0.00	0.02	0.04	0.08	0.37
2.40	1.00	0.00	2	2.64	6.97	0.00	0.01	0.01	0.03	0.19
2.69	1.00	0.00	4	2.39	5.70	0.00	0.01	0.01	0.04	0.27
2.98	1.00	0.00	2	1.64	2.69	0.00	0.00	0.00	0.01	0.06
3.26	1.00	0.00	4	0.76	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
3.55	1.00	0.00	2	0.29	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.35	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.45	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.42	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
4.70	1.00	0.00	2	0.32	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.17	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							3.08	1.34	0.77	1.34
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4

Tabel F.17 Spektra Respon *Free Floating* Gerakan *Pitch* Arah Gelombang 60°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)^*$ SM	$\omega * S_r(\omega)^*$ SM	$\omega^2 * S_r(\omega)^*$ SM	$\omega^4 * S_r(\omega)^*$ SM
0.10	0.00	0.00	1	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.30	0.09	0.25	1.00	0.39	0.15	0.02
0.68	0.88	0.20	2	0.29	0.09	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01
0.96	0.97	0.04	4	0.21	0.04	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
1.25	0.99	0.01	2	0.45	0.20	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
1.54	1.00	0.00	4	0.86	0.74	0.00	0.01	0.02	0.03	0.06
1.83	1.00	0.00	2	1.21	1.47	0.00	0.00	0.01	0.02	0.05
2.11	1.00	0.00	4	1.40	1.95	0.00	0.01	0.01	0.03	0.12
2.40	1.00	0.00	2	1.35	1.81	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05
2.69	1.00	0.00	4	1.11	1.22	0.00	0.00	0.00	0.01	0.06
2.98	1.00	0.00	2	0.86	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
3.26	1.00	0.00	4	0.75	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
3.55	1.00	0.00	2	0.70	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
3.84	1.00	0.00	4	0.57	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
4.13	1.00	0.00	2	0.35	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.18	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							1.07	0.47	0.27	0.45
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4

Tabel F.18 Spektra Respon *Free Floating* Gerakan *Pitch* Arah Gelombang 90°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)^*$ SM	$\omega * S_r(\omega)^*$ SM	$\omega^2 * S_r(\omega)^*$ SM	$\omega^4 * S_r(\omega)^*$ SM
0.10	0.00	0.00	1	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.10	0.01	0.03	0.11	0.04	0.02	0.00
0.68	0.88	0.20	2	0.23	0.05	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.39	0.15	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
1.25	0.99	0.01	2	0.58	0.34	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
1.54	1.00	0.00	4	0.75	0.57	0.00	0.01	0.01	0.02	0.05
1.83	1.00	0.00	2	0.83	0.69	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
2.11	1.00	0.00	4	0.80	0.64	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04
2.40	1.00	0.00	2	0.67	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.69	1.00	0.00	4	0.63	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
2.98	1.00	0.00	2	0.76	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
3.26	1.00	0.00	4	0.68	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
3.55	1.00	0.00	2	0.40	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.30	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.26	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.22	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.20	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							0.18	0.11	0.10	0.23
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4

Tabel F.19 Spektra Respon *Free Floating* Gerakan *Pitch* Arah Gelombang 120°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)^*$ SM	$\omega * S_r(\omega)^*$ SM	$\omega^2 * S_r(\omega)^*$ SM	$\omega^4 * S_r(\omega)^*$ SM
0.10	0.00	0.00	1	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.30	0.09	0.25	1.01	0.39	0.15	0.02
0.68	0.88	0.20	2	0.29	0.09	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01
0.96	0.97	0.04	4	0.21	0.04	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
1.25	0.99	0.01	2	0.45	0.20	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
1.54	1.00	0.00	4	0.86	0.75	0.00	0.01	0.02	0.03	0.06
1.83	1.00	0.00	2	1.25	1.57	0.00	0.00	0.01	0.02	0.06
2.11	1.00	0.00	4	1.54	2.36	0.00	0.01	0.02	0.03	0.14
2.40	1.00	0.00	2	1.66	2.77	0.00	0.00	0.01	0.01	0.07
2.69	1.00	0.00	4	1.51	2.27	0.00	0.00	0.01	0.02	0.11
2.98	1.00	0.00	2	0.98	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
3.26	1.00	0.00	4	0.65	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
3.55	1.00	0.00	2	0.73	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
3.84	1.00	0.00	4	0.54	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
4.13	1.00	0.00	2	0.30	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.20	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.20	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							1.08	0.48	0.29	0.55
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel F.20 Spektra Respon *Free Floating* Gerakan *Pitch* Arah Gelombang 150°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)^*$ SM	$\omega * S_r(\omega)^*$ SM	$\omega^2 * S_r(\omega)^*$ SM	$\omega^4 * S_r(\omega)^*$ SM
0.10	0.00	0.00	1	0.18	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.51	0.26	0.73	2.92	1.13	0.44	0.07
0.68	0.88	0.20	2	0.47	0.22	0.04	0.09	0.06	0.04	0.02
0.96	0.97	0.04	4	0.19	0.04	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
1.25	0.99	0.01	2	0.63	0.40	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
1.54	1.00	0.00	4	1.37	1.88	0.01	0.03	0.04	0.07	0.16
1.83	1.00	0.00	2	2.00	3.99	0.01	0.01	0.02	0.04	0.14
2.11	1.00	0.00	4	2.34	5.48	0.00	0.02	0.04	0.07	0.33
2.40	1.00	0.00	2	2.28	5.21	0.00	0.00	0.01	0.02	0.14
2.69	1.00	0.00	4	1.78	3.17	0.00	0.00	0.01	0.02	0.15
2.98	1.00	0.00	2	0.99	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
3.26	1.00	0.00	4	0.35	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.19	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.18	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.28	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.35	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.33	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.24	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							3.09	1.33	0.73	1.06
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4

Tabel F.21 Spektra Respon *Free Floating* Gerakan *Pitch* Arah Gelombang 180°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	0.20	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.59	0.35	0.98	3.93	1.52	0.59	0.09
0.68	0.88	0.20	2	0.57	0.33	0.07	0.13	0.09	0.06	0.03
0.96	0.97	0.04	4	0.38	0.15	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
1.25	0.99	0.01	2	0.87	0.76	0.01	0.02	0.02	0.02	0.04
1.54	1.00	0.00	4	1.71	2.91	0.01	0.04	0.07	0.10	0.24
1.83	1.00	0.00	2	2.43	5.88	0.01	0.02	0.03	0.06	0.21
2.11	1.00	0.00	4	2.80	7.85	0.01	0.02	0.05	0.11	0.48
2.40	1.00	0.00	2	2.71	7.36	0.00	0.01	0.01	0.03	0.20
2.69	1.00	0.00	4	2.24	5.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.24
2.98	1.00	0.00	2	1.74	3.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.07
3.26	1.00	0.00	4	1.52	2.30	0.00	0.00	0.00	0.01	0.09
3.55	1.00	0.00	2	1.39	1.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
3.84	1.00	0.00	4	1.13	1.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
4.13	1.00	0.00	2	0.70	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
4.41	1.00	0.00	4	0.30	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.24	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.36	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.29	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							4.20	1.84	1.06	1.78
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel G.1 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Surge* Arah Gelombang 0°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^2*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	2.82	7.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	2.67	7.13	19.81	79.26	30.72	11.91	1.79
0.68	0.88	0.20	2	1.34	1.79	0.36	0.72	0.49	0.33	0.15
0.96	0.97	0.04	4	0.98	0.97	0.04	0.15	0.14	0.13	0.12
1.25	0.99	0.01	2	0.82	0.68	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
1.54	1.00	0.00	4	0.70	0.49	0.00	0.01	0.01	0.02	0.04
1.83	1.00	0.00	2	0.58	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.11	1.00	0.00	4	0.45	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.40	1.00	0.00	2	0.33	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.18	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.19	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.32	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.30	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.20	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.14	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	1	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							80.15	31.38	12.42	2.18
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4



Tabel G.2 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Surge* Arah Gelombang 30°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^2*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^4*S_r(\omega)*S$ M
0.10	0.00	0.00	1	2.44	5.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	2.31	5.35	14.86	59.43	23.04	8.93	1.34
0.68	0.88	0.20	2	1.16	1.34	0.27	0.54	0.36	0.25	0.11
0.96	0.97	0.04	4	0.85	0.72	0.03	0.11	0.10	0.10	0.09
1.25	0.99	0.01	2	0.71	0.51	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03
1.54	1.00	0.00	4	0.61	0.37	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03
1.83	1.00	0.00	2	0.49	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.11	1.00	0.00	4	0.38	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.40	1.00	0.00	2	0.25	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	1	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							60.10	23.53	9.31	1.62
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel G.3 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Surge* Arah Gelombang 60°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^2*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^4*S_r(\omega)*S$ M
0.10	0.00	0.00	1	1.41	1.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	1.34	1.78	4.96	19.83	7.69	2.98	0.45
0.68	0.88	0.20	2	0.67	0.45	0.09	0.18	0.12	0.08	0.04
0.96	0.97	0.04	4	0.49	0.24	0.01	0.04	0.04	0.03	0.03
1.25	0.99	0.01	2	0.41	0.17	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
1.54	1.00	0.00	4	0.35	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
1.83	1.00	0.00	2	0.28	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.11	1.00	0.00	4	0.21	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.40	1.00	0.00	2	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	1	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							20.05	7.85	3.11	0.54
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel G.4 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Surge* Arah Gelombang 90°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^2*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^4*S_r(\omega)*S$ M
0.10	0.00	0.00	1	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.68	0.88	0.20	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.25	0.99	0.01	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.54	1.00	0.00	4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.11	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.40	1.00	0.00	2	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							0.00	0.00	0.00	0.00
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4

Tabel G.5 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Surge* Arah Gelombang 120°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^2*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^4*S_r(\omega)*S$ M
0.10	0.00	0.00	1	1.41	1.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	1.33	1.78	4.95	19.80	7.67	2.97	0.45
0.68	0.88	0.20	2	0.67	0.45	0.09	0.18	0.12	0.08	0.04
0.96	0.97	0.04	4	0.49	0.24	0.01	0.04	0.03	0.03	0.03
1.25	0.99	0.01	2	0.41	0.17	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
1.54	1.00	0.00	4	0.35	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
1.83	1.00	0.00	2	0.29	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.11	1.00	0.00	4	0.23	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.40	1.00	0.00	2	0.16	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.16	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	1	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							20.02	7.84	3.10	0.54
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4

Tabel G.6 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Surge* Arah Gelombang 150°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	2.45	5.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	2.31	5.34	14.86	59.43	23.03	8.93	1.34
0.68	0.88	0.20	2	1.16	1.34	0.27	0.54	0.36	0.25	0.11
0.96	0.97	0.04	4	0.85	0.72	0.03	0.11	0.10	0.10	0.09
1.25	0.99	0.01	2	0.71	0.51	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03
1.54	1.00	0.00	4	0.61	0.37	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03
1.83	1.00	0.00	2	0.49	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.11	1.00	0.00	4	0.36	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.40	1.00	0.00	2	0.22	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	1	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							60.10	23.53	9.31	1.62
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel G.7 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Surge* Arah Gelombang 180°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	2.82	7.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	2.67	7.13	19.81	79.26	30.72	11.91	1.79
0.68	0.88	0.20	2	1.34	1.79	0.36	0.72	0.49	0.33	0.15
0.96	0.97	0.04	4	0.98	0.97	0.04	0.15	0.14	0.13	0.12
1.25	0.99	0.01	2	0.82	0.68	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
1.54	1.00	0.00	4	0.70	0.49	0.00	0.01	0.01	0.02	0.04
1.83	1.00	0.00	2	0.56	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.11	1.00	0.00	4	0.41	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.40	1.00	0.00	2	0.27	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.18	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.20	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.25	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.26	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.20	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	1	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							80.15	31.38	12.42	2.17
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel G.8 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Sway* Arah Gelombang 0°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^2*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.68	0.88	0.20	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.25	0.99	0.01	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.54	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.11	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.40	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							0.00	0.00	0.00	0.00
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4

Tabel G.9 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Sway* Arah Gelombang 30°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_I(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^2*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^4*S_r(\omega)*S$ M
0.10	0.00	0.00	1	1.42	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	1.33	1.78	4.95	19.80	7.68	2.97	0.45
0.68	0.88	0.20	2	0.67	0.45	0.09	0.18	0.12	0.08	0.04
0.96	0.97	0.04	4	0.49	0.24	0.01	0.04	0.04	0.03	0.03
1.25	0.99	0.01	2	0.41	0.17	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
1.54	1.00	0.00	4	0.35	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
1.83	1.00	0.00	2	0.28	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.11	1.00	0.00	4	0.20	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.40	1.00	0.00	2	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							20.03	7.84	3.10	0.54
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$



Tabel G.10 Spektra Respon Tertambat Gerakan Sway Arah Gelombang 60°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Sr( $\omega$ ) (m <sup>2</sup> /(rad/s))	Sr( $\omega$ )*SM	$\omega$ *Sr( $\omega$ )*S M	$\omega^2$ *Sr( $\omega$ )*S M	$\omega^4$ *Sr( $\omega$ )*S M
0.10	0.00	0.00	1	2.45	6.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	2.31	5.34	14.85	59.38	23.02	8.92	1.34
0.68	0.88	0.20	2	1.16	1.34	0.27	0.54	0.36	0.25	0.11
0.96	0.97	0.04	4	0.85	0.72	0.03	0.11	0.10	0.10	0.09
1.25	0.99	0.01	2	0.71	0.51	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03
1.54	1.00	0.00	4	0.61	0.37	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03
1.83	1.00	0.00	2	0.49	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.11	1.00	0.00	4	0.36	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.40	1.00	0.00	2	0.23	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.17	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.22	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.22	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.18	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							60.05	23.51	9.30	1.63
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel G.11 Spektra Respon Tertambat Gerakan Sway Arah Gelombang 90°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^2*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^4*S_r(\omega)*S$ M
0.10	0.00	0.00	1	2.83	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	2.67	7.12	19.79	79.16	30.68	11.89	1.79
0.68	0.88	0.20	2	1.34	1.79	0.36	0.72	0.49	0.33	0.15
0.96	0.97	0.04	4	0.98	0.96	0.04	0.15	0.14	0.13	0.12
1.25	0.99	0.01	2	0.82	0.68	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
1.54	1.00	0.00	4	0.70	0.49	0.00	0.01	0.01	0.02	0.04
1.83	1.00	0.00	2	0.57	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.11	1.00	0.00	4	0.42	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.40	1.00	0.00	2	0.27	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							80.05	31.34	12.40	2.16
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel G.12 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Sway* Arah Gelombang 120°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^2*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^4*S_r(\omega)*S$ M
0.10	0.00	0.00	1	2.45	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	2.31	5.34	14.84	59.36	23.01	8.92	1.34
0.68	0.88	0.20	2	1.16	1.34	0.27	0.54	0.36	0.25	0.11
0.96	0.97	0.04	4	0.85	0.72	0.03	0.11	0.10	0.10	0.09
1.25	0.99	0.01	2	0.71	0.51	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03
1.54	1.00	0.00	4	0.61	0.37	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03
1.83	1.00	0.00	2	0.50	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.11	1.00	0.00	4	0.39	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.40	1.00	0.00	2	0.28	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.16	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.17	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.28	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.26	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.17	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							60.02	23.50	9.30	1.63
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel G.13 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Sway* Arah Gelombang 150°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	$RAO^2$ (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	1.41	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	1.33	1.78	4.94	19.78	7.67	2.97	0.45
0.68	0.88	0.20	2	0.67	0.45	0.09	0.18	0.12	0.08	0.04
0.96	0.97	0.04	4	0.49	0.24	0.01	0.04	0.03	0.03	0.03
1.25	0.99	0.01	2	0.41	0.17	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
1.54	1.00	0.00	4	0.35	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
1.83	1.00	0.00	2	0.29	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.11	1.00	0.00	4	0.23	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.40	1.00	0.00	2	0.17	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							20.00	7.83	3.10	0.54
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel G.14 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Sway* Arah Gelombang 180°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.68	0.88	0.20	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.25	0.99	0.01	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.54	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.11	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.40	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							0.00	0.00	0.00	0.00
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4

Tabel G.15 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Heave* Arah Gelombang 0°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^2*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	0.99	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.99	0.98	2.72	10.89	4.22	1.64	0.25
0.68	0.88	0.20	2	1.00	1.01	0.20	0.41	0.27	0.19	0.08
0.96	0.97	0.04	4	1.06	1.13	0.04	0.17	0.16	0.16	0.15
1.25	0.99	0.01	2	1.52	2.32	0.02	0.05	0.06	0.08	0.12
1.54	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.39	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.11	1.00	0.00	4	0.38	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.40	1.00	0.00	2	0.27	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							11.51	4.72	2.06	0.61
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4

Tabel G.16 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Heave* Arah Gelombang 30°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^2*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^4*S_r(\omega)*S$ M
0.10	0.00	0.00	1	0.99	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.99	0.98	2.72	10.89	4.22	1.64	0.25
0.68	0.88	0.20	2	1.00	1.01	0.20	0.41	0.27	0.19	0.08
0.96	0.97	0.04	4	1.06	1.13	0.04	0.17	0.16	0.16	0.15
1.25	0.99	0.01	2	1.52	2.32	0.02	0.05	0.06	0.08	0.12
1.54	1.00	0.00	4	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.39	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.11	1.00	0.00	4	0.39	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.40	1.00	0.00	2	0.30	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.17	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							11.52	4.72	2.06	0.61
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel G.17 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Heave* Arah Gelombang 60°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^2*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^4*S_r(\omega)*S$ M
0.10	0.00	0.00	1	0.99	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.99	0.98	2.72	10.89	4.22	1.64	0.25
0.68	0.88	0.20	2	1.00	1.01	0.20	0.41	0.27	0.19	0.08
0.96	0.97	0.04	4	1.06	1.13	0.04	0.17	0.16	0.16	0.15
1.25	0.99	0.01	2	1.53	2.33	0.02	0.05	0.06	0.08	0.12
1.54	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.40	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.11	1.00	0.00	4	0.41	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.40	1.00	0.00	2	0.33	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.21	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							11.52	4.72	2.06	0.62
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$



Tabel G.18 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Heave* Arah Gelombang 90°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^2*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^4*S_r(\omega)*S$ M
0.10	0.00	0.00	1	0.99	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.99	0.98	2.72	10.89	4.22	1.64	0.25
0.68	0.88	0.20	2	1.00	1.01	0.20	0.41	0.27	0.19	0.08
0.96	0.97	0.04	4	1.06	1.13	0.04	0.17	0.16	0.16	0.15
1.25	0.99	0.01	2	1.53	2.33	0.02	0.05	0.06	0.08	0.12
1.54	1.00	0.00	4	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.39	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.11	1.00	0.00	4	0.39	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.40	1.00	0.00	2	0.30	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.17	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							11.52	4.72	2.06	0.61
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel G.19 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Heave* Arah Gelombang 120°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^2*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^4*S_r(\omega)*S$ M
0.10	0.00	0.00	1	0.99	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.99	0.98	2.72	10.89	4.22	1.64	0.25
0.68	0.88	0.20	2	1.00	1.01	0.20	0.41	0.27	0.19	0.08
0.96	0.97	0.04	4	1.06	1.13	0.04	0.17	0.16	0.16	0.15
1.25	0.99	0.01	2	1.52	2.32	0.02	0.05	0.06	0.08	0.12
1.54	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.39	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.11	1.00	0.00	4	0.38	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.40	1.00	0.00	2	0.27	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							11.52	4.72	2.06	0.61
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel G.20 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Heave* Arah Gelombang 150°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	0.99	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.99	0.98	2.72	10.89	4.22	1.64	0.25
0.68	0.88	0.20	2	1.00	1.01	0.20	0.41	0.27	0.19	0.08
0.96	0.97	0.04	4	1.06	1.13	0.04	0.17	0.16	0.16	0.15
1.25	0.99	0.01	2	1.52	2.32	0.02	0.05	0.06	0.08	0.12
1.54	1.00	0.00	4	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.39	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.11	1.00	0.00	4	0.39	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.40	1.00	0.00	2	0.30	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.17	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							11.52	4.72	2.06	0.61
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel G.21 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Heave* Arah Gelombang 180°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (m/m)	RAO <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	0.99	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.99	0.98	2.72	10.89	4.22	1.64	0.25
0.68	0.88	0.20	2	1.00	1.01	0.20	0.41	0.27	0.19	0.08
0.96	0.97	0.04	4	1.06	1.13	0.04	0.17	0.16	0.16	0.15
1.25	0.99	0.01	2	1.52	2.32	0.02	0.05	0.06	0.08	0.12
1.54	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.40	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.11	1.00	0.00	4	0.41	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.40	1.00	0.00	2	0.33	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.21	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							11.52	4.72	2.06	0.62
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel G.22 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Roll* Arah Gelombang 0°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.68	0.88	0.20	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.25	0.99	0.01	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.54	1.00	0.00	4	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.11	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.40	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							0.00	0.00	0.00	0.00
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4

Tabel G.23 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Roll* Arah Gelombang 30°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	0.90	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.31	0.10	0.27	1.10	0.43	0.16	0.02
0.68	0.88	0.20	2	0.19	0.04	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.32	0.10	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01
1.25	0.99	0.01	2	0.58	0.33	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
1.54	1.00	0.00	4	0.88	0.77	0.00	0.01	0.02	0.03	0.06
1.83	1.00	0.00	2	1.13	1.27	0.00	0.00	0.01	0.01	0.04
2.11	1.00	0.00	4	1.19	1.42	0.00	0.00	0.01	0.02	0.09
2.40	1.00	0.00	2	0.99	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
2.69	1.00	0.00	4	0.56	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.98	1.00	0.00	2	0.29	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.36	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.26	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.17	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.19	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.21	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.17	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							1.16	0.50	0.26	0.30
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4

Tabel G.24 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Roll* Arah Gelombang 60°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	1.56	2.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.53	0.28	0.78	3.12	1.21	0.47	0.07
0.68	0.88	0.20	2	0.20	0.04	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.34	0.11	0.00	0.02	0.02	0.02	0.01
1.25	0.99	0.01	2	0.77	0.59	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
1.54	1.00	0.00	4	1.33	1.77	0.01	0.03	0.04	0.06	0.15
1.83	1.00	0.00	2	1.81	3.29	0.01	0.01	0.02	0.03	0.12
2.11	1.00	0.00	4	2.04	4.18	0.00	0.01	0.03	0.06	0.25
2.40	1.00	0.00	2	1.95	3.79	0.00	0.00	0.01	0.02	0.10
2.69	1.00	0.00	4	1.59	2.52	0.00	0.00	0.01	0.02	0.12
2.98	1.00	0.00	2	1.22	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
3.26	1.00	0.00	4	1.07	1.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
3.55	1.00	0.00	2	0.98	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
3.84	1.00	0.00	4	0.80	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
4.13	1.00	0.00	2	0.50	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.21	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.16	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.25	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.21	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							3.22	1.36	0.71	0.98
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel G.25 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Roll* Arah Gelombang 90°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^2*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^4*S_r(\omega)*S$ M
0.10	0.00	0.00	1	1.80	3.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.60	0.36	1.01	4.04	1.57	0.61	0.09
0.68	0.88	0.20	2	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.25	0.99	0.01	2	0.72	0.51	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03
1.54	1.00	0.00	4	1.40	1.95	0.01	0.03	0.04	0.07	0.16
1.83	1.00	0.00	2	1.98	3.92	0.01	0.01	0.02	0.04	0.14
2.11	1.00	0.00	4	2.32	5.40	0.00	0.02	0.03	0.07	0.33
2.40	1.00	0.00	2	2.35	5.53	0.00	0.00	0.01	0.03	0.15
2.69	1.00	0.00	4	1.98	3.94	0.00	0.00	0.01	0.03	0.19
2.98	1.00	0.00	2	1.23	1.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
3.26	1.00	0.00	4	0.45	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
3.55	1.00	0.00	2	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.21	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.32	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.34	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.29	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.19	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							4.13	1.71	0.87	1.13
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4



Tabel G.26 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Roll* Arah Gelombang 120°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^2*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^4*S_r(\omega)*S$ M
0.10	0.00	0.00	1	1.56	2.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.53	0.28	0.77	3.09	1.20	0.46	0.07
0.68	0.88	0.20	2	0.20	0.04	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.33	0.11	0.00	0.02	0.02	0.02	0.01
1.25	0.99	0.01	2	0.76	0.58	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03
1.54	1.00	0.00	4	1.36	1.84	0.01	0.03	0.04	0.06	0.15
1.83	1.00	0.00	2	1.88	3.52	0.01	0.01	0.02	0.04	0.12
2.11	1.00	0.00	4	2.25	5.05	0.00	0.02	0.03	0.07	0.31
2.40	1.00	0.00	2	2.40	5.78	0.00	0.00	0.01	0.03	0.15
2.69	1.00	0.00	4	2.16	4.65	0.00	0.00	0.01	0.03	0.22
2.98	1.00	0.00	2	1.39	1.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
3.26	1.00	0.00	4	0.93	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
3.55	1.00	0.00	2	1.04	1.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
3.84	1.00	0.00	4	0.77	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
4.13	1.00	0.00	2	0.43	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.29	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.28	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.21	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.14	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							3.20	1.36	0.75	1.20
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4

Tabel G.27 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Roll* Arah Gelombang 150°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	0.90	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.31	0.10	0.27	1.07	0.41	0.16	0.02
0.68	0.88	0.20	2	0.19	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.31	0.10	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
1.25	0.99	0.01	2	0.56	0.31	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
1.54	1.00	0.00	4	0.91	0.83	0.00	0.01	0.02	0.03	0.07
1.83	1.00	0.00	2	1.19	1.42	0.00	0.00	0.01	0.01	0.05
2.11	1.00	0.00	4	1.39	1.93	0.00	0.01	0.01	0.03	0.12
2.40	1.00	0.00	2	1.50	2.24	0.00	0.00	0.00	0.01	0.06
2.69	1.00	0.00	4	1.43	2.05	0.00	0.00	0.01	0.01	0.10
2.98	1.00	0.00	2	1.11	1.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
3.26	1.00	0.00	4	0.66	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
3.55	1.00	0.00	2	0.31	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.29	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.32	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.27	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.19	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							1.13	0.50	0.29	0.50
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel G.28 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Roll* Arah Gelombang 180°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.68	0.88	0.20	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.25	0.99	0.01	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.54	1.00	0.00	4	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.11	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.40	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							0.00	0.00	0.00	0.00
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4

Tabel G.29 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Pitch* Arah Gelombang 0°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	1.80	3.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.61	0.37	1.03	4.12	1.60	0.62	0.09
0.68	0.88	0.20	2	0.22	0.05	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.38	0.14	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
1.25	0.99	0.01	2	0.88	0.77	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04
1.54	1.00	0.00	4	1.55	2.42	0.01	0.04	0.06	0.08	0.20
1.83	1.00	0.00	2	2.16	4.68	0.01	0.01	0.03	0.05	0.16
2.11	1.00	0.00	4	2.60	6.75	0.01	0.02	0.04	0.09	0.41
2.40	1.00	0.00	2	2.78	7.74	0.00	0.01	0.01	0.04	0.21
2.69	1.00	0.00	4	2.50	6.24	0.00	0.01	0.02	0.04	0.30
2.98	1.00	0.00	2	1.62	2.61	0.00	0.00	0.00	0.01	0.06
3.26	1.00	0.00	4	1.08	1.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
3.55	1.00	0.00	2	1.20	1.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
3.84	1.00	0.00	4	0.89	0.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
4.13	1.00	0.00	2	0.49	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.34	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.33	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.25	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.16	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							4.27	1.81	0.99	1.60
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel G.30 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Pitch* Arah Gelombang 30°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	1.56	2.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.52	0.28	0.76	3.06	1.19	0.46	0.07
0.68	0.88	0.20	2	0.12	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.21	0.04	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
1.25	0.99	0.01	2	0.67	0.44	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
1.54	1.00	0.00	4	1.25	1.57	0.01	0.02	0.04	0.06	0.13
1.83	1.00	0.00	2	1.76	3.11	0.00	0.01	0.02	0.03	0.11
2.11	1.00	0.00	4	2.10	4.40	0.00	0.01	0.03	0.06	0.27
2.40	1.00	0.00	2	2.20	4.85	0.00	0.00	0.01	0.02	0.13
2.69	1.00	0.00	4	1.97	3.89	0.00	0.00	0.01	0.03	0.19
2.98	1.00	0.00	2	1.34	1.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
3.26	1.00	0.00	4	0.62	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
3.55	1.00	0.00	2	0.24	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.28	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.36	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.34	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.26	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.14	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							3.14	1.31	0.69	0.99
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel G.31 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Pitch* Arah Gelombang 60°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^2*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^4*S_r(\omega)*S$ M
0.10	0.00	0.00	1	0.90	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.31	0.10	0.27	1.06	0.41	0.16	0.02
0.68	0.88	0.20	2	0.13	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.20	0.04	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
1.25	0.99	0.01	2	0.45	0.20	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
1.54	1.00	0.00	4	0.77	0.60	0.00	0.01	0.01	0.02	0.05
1.83	1.00	0.00	2	1.05	1.10	0.00	0.00	0.01	0.01	0.04
2.11	1.00	0.00	4	1.18	1.39	0.00	0.00	0.01	0.02	0.08
2.40	1.00	0.00	2	1.12	1.26	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03
2.69	1.00	0.00	4	0.91	0.84	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04
2.98	1.00	0.00	2	0.70	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
3.26	1.00	0.00	4	0.62	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
3.55	1.00	0.00	2	0.57	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
3.84	1.00	0.00	4	0.46	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
4.13	1.00	0.00	2	0.29	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.14	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							1.10	0.46	0.24	0.33
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel G.32 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Pitch* Arah Gelombang 90°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^2*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^4*S_r(\omega)*S$ M
0.10	0.00	0.00	1	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.11	0.01	0.04	0.14	0.05	0.02	0.00
0.68	0.88	0.20	2	0.23	0.05	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.37	0.13	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
1.25	0.99	0.01	2	0.52	0.27	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
1.54	1.00	0.00	4	0.65	0.42	0.00	0.01	0.01	0.01	0.04
1.83	1.00	0.00	2	0.71	0.50	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
2.11	1.00	0.00	4	0.67	0.45	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03
2.40	1.00	0.00	2	0.56	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.69	1.00	0.00	4	0.52	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2.98	1.00	0.00	2	0.62	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
3.26	1.00	0.00	4	0.55	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
3.55	1.00	0.00	2	0.32	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.25	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.21	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.18	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.16	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							0.20	0.11	0.09	0.17
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4

Tabel G.33 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Pitch* Arah Gelombang 120°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^2*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^4*S_r(\omega)*S$ M
0.10	0.00	0.00	1	0.90	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.31	0.09	0.26	1.05	0.41	0.16	0.02
0.68	0.88	0.20	2	0.13	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.20	0.04	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
1.25	0.99	0.01	2	0.45	0.20	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
1.54	1.00	0.00	4	0.78	0.61	0.00	0.01	0.01	0.02	0.05
1.83	1.00	0.00	2	1.08	1.17	0.00	0.00	0.01	0.01	0.04
2.11	1.00	0.00	4	1.30	1.68	0.00	0.01	0.01	0.02	0.10
2.40	1.00	0.00	2	1.39	1.92	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05
2.69	1.00	0.00	4	1.24	1.55	0.00	0.00	0.00	0.01	0.07
2.98	1.00	0.00	2	0.81	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
3.26	1.00	0.00	4	0.53	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
3.55	1.00	0.00	2	0.59	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
3.84	1.00	0.00	4	0.44	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
4.13	1.00	0.00	2	0.24	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.17	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.16	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							1.09	0.46	0.25	0.40
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4



Tabel G.34 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Pitch* Arah Gelombang 150°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Sr( $\omega$ ) (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	Sr( $\omega$ )*SM	$\omega$ *Sr( $\omega$ )*SM	$\omega^2$ *Sr( $\omega$ )*SM	$\omega^4$ *Sr( $\omega$ )*SM
0.10	0.00	0.00	1	1.56	2.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.52	0.27	0.76	3.04	1.18	0.46	0.07
0.68	0.88	0.20	2	0.12	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.21	0.04	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
1.25	0.99	0.01	2	0.66	0.44	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
1.54	1.00	0.00	4	1.25	1.55	0.01	0.02	0.04	0.05	0.13
1.83	1.00	0.00	2	1.73	2.99	0.00	0.01	0.02	0.03	0.11
2.11	1.00	0.00	4	1.98	3.91	0.00	0.01	0.03	0.05	0.24
2.40	1.00	0.00	2	1.90	3.61	0.00	0.00	0.01	0.02	0.10
2.69	1.00	0.00	4	1.47	2.16	0.00	0.00	0.01	0.01	0.10
2.98	1.00	0.00	2	0.81	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
3.26	1.00	0.00	4	0.28	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.14	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.23	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.28	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.27	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.20	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							3.11	1.29	0.65	0.79
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel G.35 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Pitch* Arah Gelombang 180°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	1.80	3.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.61	0.37	1.03	4.12	1.60	0.62	0.09
0.68	0.88	0.20	2	0.22	0.05	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.38	0.14	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
1.25	0.99	0.01	2	0.88	0.77	0.01	0.02	0.02	0.02	0.04
1.54	1.00	0.00	4	1.54	2.38	0.01	0.04	0.05	0.08	0.20
1.83	1.00	0.00	2	2.10	4.40	0.01	0.01	0.03	0.05	0.15
2.11	1.00	0.00	4	2.37	5.61	0.00	0.02	0.04	0.08	0.34
2.40	1.00	0.00	2	2.26	5.12	0.00	0.00	0.01	0.02	0.14
2.69	1.00	0.00	4	1.85	3.42	0.00	0.00	0.01	0.02	0.16
2.98	1.00	0.00	2	1.43	2.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
3.26	1.00	0.00	4	1.24	1.55	0.00	0.00	0.00	0.01	0.06
3.55	1.00	0.00	2	1.14	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
3.84	1.00	0.00	4	0.92	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
4.13	1.00	0.00	2	0.57	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
4.41	1.00	0.00	4	0.24	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.20	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.29	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.24	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							4.26	1.79	0.94	1.31
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4

Tabel G.36 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Yaw* Arah Gelombang 0°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.14	0.02	0.06	0.23	0.09	0.03	0.01
0.68	0.88	0.20	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.25	0.99	0.01	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.54	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.11	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.40	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							0.23	0.09	0.03	0.01
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel G.37 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Yaw* Arah Gelombang 30°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*SM$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.10	0.00	0.00	1	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.20	0.04	0.11	0.46	0.18	0.07	0.01
0.68	0.88	0.20	2	0.12	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.21	0.04	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
1.25	0.99	0.01	2	0.43	0.18	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
1.54	1.00	0.00	4	0.83	0.69	0.00	0.01	0.02	0.02	0.06
1.83	1.00	0.00	2	1.44	2.08	0.00	0.01	0.01	0.02	0.07
2.11	1.00	0.00	4	2.21	4.88	0.00	0.01	0.03	0.07	0.30
2.40	1.00	0.00	2	3.03	9.19	0.00	0.01	0.02	0.04	0.25
2.69	1.00	0.00	4	3.76	14.13	0.00	0.01	0.03	0.09	0.67
2.98	1.00	0.00	2	4.20	17.65	0.00	0.00	0.01	0.04	0.38
3.26	1.00	0.00	4	4.17	17.39	0.00	0.01	0.02	0.06	0.68
3.55	1.00	0.00	2	3.55	12.62	0.00	0.00	0.01	0.02	0.23
3.84	1.00	0.00	4	2.49	6.21	0.00	0.00	0.00	0.01	0.21
4.13	1.00	0.00	2	1.33	1.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
4.41	1.00	0.00	4	0.55	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
4.70	1.00	0.00	2	0.20	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.24	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.41	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							0.54	0.35	0.47	2.92
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel G.38 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Yaw* Arah Gelombang 60°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_J(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^2*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^4*S_r(\omega)*S$ M
0.10	0.00	0.00	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.13	0.02	0.05	0.20	0.08	0.03	0.00
0.68	0.88	0.20	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.25	0.99	0.01	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.54	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.11	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.40	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							0.20	0.08	0.03	0.00
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4

Tabel G.39 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Yaw* Arah Gelombang 90°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^2*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^4*S_r(\omega)*S$ M
0.10	0.00	0.00	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.18	0.03	0.09	0.35	0.14	0.05	0.01
0.68	0.88	0.20	2	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.20	0.04	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
1.25	0.99	0.01	2	0.42	0.17	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
1.54	1.00	0.00	4	0.83	0.68	0.00	0.01	0.02	0.02	0.06
1.83	1.00	0.00	2	1.44	2.07	0.00	0.01	0.01	0.02	0.07
2.11	1.00	0.00	4	2.21	4.88	0.00	0.01	0.03	0.07	0.30
2.40	1.00	0.00	2	3.04	9.22	0.00	0.01	0.02	0.04	0.25
2.69	1.00	0.00	4	3.77	14.18	0.00	0.01	0.03	0.09	0.68
2.98	1.00	0.00	2	4.21	17.72	0.00	0.00	0.01	0.04	0.38
3.26	1.00	0.00	4	4.18	17.46	0.00	0.01	0.02	0.06	0.69
3.55	1.00	0.00	2	3.56	12.67	0.00	0.00	0.01	0.02	0.23
3.84	1.00	0.00	4	2.50	6.25	0.00	0.00	0.00	0.01	0.21
4.13	1.00	0.00	2	1.34	1.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
4.41	1.00	0.00	4	0.55	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
4.70	1.00	0.00	2	0.21	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.23	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.40	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							0.43	0.30	0.46	2.92
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Tabel G.40 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Yaw* Arah Gelombang 120°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$S_r(\omega)$ (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	$S_r(\omega)*SM$	$\omega*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^2*S_r(\omega)*S$ M	$\omega^4*S_r(\omega)*S$ M
0.10	0.00	0.00	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.15	0.02	0.06	0.25	0.10	0.04	0.01
0.68	0.88	0.20	2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.25	0.99	0.01	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.54	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.83	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.11	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.40	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.69	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.98	1.00	0.00	2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.26	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.55	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.84	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.13	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.41	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.70	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							0.25	0.10	0.04	0.01
							Σ0	Σ1	Σ2	Σ4

Tabel G.41 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Yaw* Arah Gelombang 150°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Sr( $\omega$ ) (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	Sr( $\omega$ )*SM	$\omega$ *Sr( $\omega$ )*SM	$\omega^2$ *Sr( $\omega$ )*SM	$\omega^4$ *Sr( $\omega$ )*SM
0.10	0.00	0.00	1	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.25	0.06	0.17	0.68	0.27	0.10	0.02
0.68	0.88	0.20	2	0.11	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.20	0.04	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
1.25	0.99	0.01	2	0.42	0.17	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
1.54	1.00	0.00	4	0.83	0.68	0.00	0.01	0.02	0.02	0.06
1.83	1.00	0.00	2	1.44	2.06	0.00	0.01	0.01	0.02	0.07
2.11	1.00	0.00	4	2.20	4.86	0.00	0.01	0.03	0.07	0.30
2.40	1.00	0.00	2	3.03	9.17	0.00	0.01	0.02	0.04	0.25
2.69	1.00	0.00	4	3.75	14.10	0.00	0.01	0.03	0.09	0.67
2.98	1.00	0.00	2	4.20	17.62	0.00	0.00	0.01	0.04	0.38
3.26	1.00	0.00	4	4.17	17.40	0.00	0.01	0.02	0.06	0.68
3.55	1.00	0.00	2	3.56	12.66	0.00	0.00	0.01	0.02	0.23
3.84	1.00	0.00	4	2.50	6.25	0.00	0.00	0.00	0.01	0.21
4.13	1.00	0.00	2	1.34	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
4.41	1.00	0.00	4	0.55	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
4.70	1.00	0.00	2	0.21	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.23	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.41	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							0.76	0.43	0.51	2.92
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$



Tabel G.42 Spektra Respon Tertambat Gerakan *Yaw* Arah Gelombang 180°

$\omega$ (rad/s)	exp	$S_j(\omega)$ (m <sup>2</sup> /(rad/s))	SM	RAO (deg/m)	RAO <sup>2</sup> (deg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Sr( $\omega$ ) (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	Sr( $\omega$ )*SM	$\omega$ *Sr( $\omega$ )*SM	$\omega^2$ *Sr( $\omega$ )*SM	$\omega^4$ *Sr( $\omega$ )*SM
0.10	0.00	0.00	1	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.31	2.78	4	0.25	0.06	0.17	0.68	0.27	0.10	0.02
0.68	0.88	0.20	2	0.11	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
0.96	0.97	0.04	4	0.20	0.04	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
1.25	0.99	0.01	2	0.42	0.17	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
1.54	1.00	0.00	4	0.83	0.68	0.00	0.01	0.02	0.02	0.06
1.83	1.00	0.00	2	1.44	2.06	0.00	0.01	0.01	0.02	0.07
2.11	1.00	0.00	4	2.20	4.86	0.00	0.01	0.03	0.07	0.30
2.40	1.00	0.00	2	3.03	9.17	0.00	0.01	0.02	0.04	0.25
2.69	1.00	0.00	4	3.75	14.10	0.00	0.01	0.03	0.09	0.67
2.98	1.00	0.00	2	4.20	17.62	0.00	0.00	0.01	0.04	0.38
3.26	1.00	0.00	4	4.17	17.40	0.00	0.01	0.02	0.06	0.68
3.55	1.00	0.00	2	3.56	12.66	0.00	0.00	0.01	0.02	0.23
3.84	1.00	0.00	4	2.50	6.25	0.00	0.00	0.00	0.01	0.21
4.13	1.00	0.00	2	1.34	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
4.41	1.00	0.00	4	0.55	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
4.70	1.00	0.00	2	0.21	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.99	1.00	0.00	4	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.28	1.00	0.00	2	0.23	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.56	1.00	0.00	4	0.41	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							0.76	0.43	0.51	2.92
							$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

## BIODATA PENULIS



RIYAN AFIF AL IHSAN, adalah seorang pemuda kelahiran Klaten, 27 Juni 1994. Anak dari pasangan seorang guru dan seorang wiraswasta ini mulai menempuh bangku kuliah di Jurusan Teknik Kelautan ITS sejak tahun 2011. Ketertarikan terhadap dunia keilmiahan terutama bidang energi laut terbarukan mulai tumbuh ketika pemuda ini dikenalkan dengan ilmu yang ada di Teknik Kelautan, hal ini membuatnya diterima di Departemen Ristek Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan sebagai ketua divisi keilmiahan. Selain itu, pemuda dengan IPK

3.53 ini juga aktif di BEM ITS. Beberapa penghargaan juga berhasil diraihinya selama masa kuliah antara lain Juara 1 Class NK Award, Juara 3 MITI Paper Challenge, Juara 3 ITS Student Internasionalization Project, Penerima Beasiswa Sobat Bumi dan ABS Award. Selain itu penulis juga pernah berkesempatan untuk mengunjungi negeri sakura dalam rangka kegiatan Jenesys 2.0 *Urban Engineering and City Planning*. Berbagai pelatihan dan seminar dalam dan luar jurusan juga rutin diikuti penulis dalam rangka pengembangan dirinya. Pada bulan Juli 2015, penulis mengambil Tugas Akhir sebagai syarat kelulusan pendidikan Strata 1, dengan judul “**Desain Supporting Structure jenis Tension Leg Platform untuk Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut di Perairan Selat Alas Lombok Timur**” dan berhasil diselesaikan dalam 1 semester.